



Cobre Panamá

INFORME ANUAL DEL PROGRAMA DE MONITOREO DE ECOSISTEMAS DE AGUA DULCE

Periodo: 2024

Fecha de Emisión	Revisión	Descripción	Elaborado por:		Revisado y Aprobado por:	
25/01/2025	1	Informe Técnico	Biodiversity Consultant Group		Blanca Araúz Superintendente de Medio Ambiente	

MARZO 2024

Proyecto Mina de Cobre Panamá

**INFORME ANUAL DE
MONITOREO DE ECOSISTEMAS
DE AGUA DULCE**



Biodiversity Consultant Group (BCG)

Hato Pintado, Calle Sauce, Casa L13

Teléfono: 203-6384

Equipo Administrativo:

Msc, MBA. Samuel Valdés	-Director - Ictiología y entomología
Msc. César Jaramillo	-Gerente
Msc. Marelys Torres	-Gerente de Proyectos
Lic. Juan Pablo Ríos	-Logística
Téc. Juan Hernández	-Logística y Seguridad

Equipo de Especialistas:

MSc. César Jaramillo	-Herpetología
MSc. Marelys Torres	-Gestión Ambiental
Téc. Laurencio Martínez	-Botánica
Téc. Kathania Flores	-Botánica
Téc. Benjamín Walker	-Vida Silvestre y Mastozoología
Téc. Yaritza González	-Peces e Insectos Acuáticos
Lic. Juan Pablo Ríos	-Ornitología

Colaborador Externo:

MSc. Orlando O. Ortiz	-Botánico.
-----------------------	------------

Equipo Asesor de BCG:

Lic. Samuel Valdés	-Peces de agua dulce y Entomología
Lic. Alvin Zapata	-Botánica

Contenido

Resumen Ejecutivo	1
Introducción.....	2
Metodología.....	3
Área de Estudio y sitios de muestreo.....	3
Descripción de hábitat	5
Calidad de agua y sedimentos.....	6
Muestreo de Arraigo	8
Muestreo de perifiton	9
Macroinvertebrados acuáticos	10
Índice BMWP/PAN	11
Peces	12
Análisis estadístico	13
Resultados y Discusión.....	14
Descripción de los tramos muestreados.....	14
Caracterización del hábitat	21
Parámetros fisicoquímicos del agua	21
Metales en agua.....	23
Metales en sedimento	26
Metales en tejido de peces	27
Comparación de resultados entre sitios en función de la distancia al proyecto	28
Análisis multianual de metales en tejido muscular de <i>Gobiomorus dormitor</i>	30
Perifiton.....	31
Macroinvertebrados acuáticos	35
BMWP/PAN	41
Diversidad de peces	44
Conclusiones.....	49
Bibliografía.....	50
Anexos.....	52

Contenido de figuras

Figura 1. Ubicación de los tramos muestreados.	3
Figura 2. Toma de muestras de agua y sedimento en el tramo HB-EAD-007.	7
Figura 3. Toma de muestras de agua y sedimento en el tramo HB-EAD-007.	7
Figura 4. Equipo empleado para el conteo de los organismos de la comunidad de perifiton	9
Figura 5. Técnica de kicking para el muestreo de macroinvertebrados acuáticos en el tramo HB-EAD-007.....	10
Figura 6. Técnicas de muestreo de captura de peces con el uso de electropesca y chinchorro	12
Figura 7. Vista del tramo HB-EAD-001 (Referencia Hoja).	14
Figura 8. Vista del tramo HB-EAD-003 (PMC – Caimito).	15
Figura 9. Vista del tramo HB-EAD-004 (PML – Caimito).	16
Figura 10. Vista del tramo HB-EAD-005 (PMC Botija).	17
Figura 11. Vista del tramo HB-EAD-006 (PML Botija).	18
Figura 12. Vista del tramo HB-EAD-007 (PMC Petaquilla).	19
Figura 13. Vista del tramo HB-EAD-008 (PML Petaquilla).	20
Figura 14. Índice de caracterización de hábitat de los tramos muestreado.	21
Figura 15. Análisis PCA para parámetros fisicoquímicos en agua.	23
Figura 16. Análisis de PCA para metales disueltos en muestras de agua.	24
.....	25
Figura 16A. Representación de variables fisicoquímicas del agua en las estaciones de cumplimiento diferenciadas entre referencia, cercanas y lejanas a la mina en el lapso 2021 a 2024. Las cajas representan la dispersión del 50 % de los datos respecto a la media y la línea delgada la desviación estándar de los datos.....	25
Figura 17. Análisis de PCA para metales en sedimento.....	27
Figura 18. Gráfico de barras mostrando los valores registrados para metales en tejido de <i>Gobiomorus dormitor</i>	29
Figura 19. Registro fotográfico de algunos taxas registrados en el área de estudio.....	34
Figura 20. Abundancia de individuos según los órdenes de macroinvertebrados acuáticos presentes en todos los tramos.	36
Figura 21. Familias de macroinvertebrados acuáticos presentes.....	36
Figura 22. Abundancia de individuos de macroinvertebrados acuáticos presentes en cada tramo.....	37
Figura 23. Abundancia de individuos por familias de macroinvertebrados acuáticos en el tramo HB-EAD-001.	38

Figura 24. Abundancia de individuos por familias de macroinvertebrados acuáticos en el tramo HB-EAD-003	38
Figura 25. Abundancia de individuos por familias de macroinvertebrados acuáticos en el tramo HB-EAD-004	39
Figura 26. Abundancia de individuos por familias de macroinvertebrados acuáticos en el tramo HB-EAD-005	39
Figura 27. Abundancia de individuos por familias de macroinvertebrados acuáticos en el tramo HB-EAD-006	40
Figura 28. Abundancia de individuos por familias de macroinvertebrados acuáticos en el tramo HB-EAD-007	40
Figura 29. Abundancia de individuos por familias de macroinvertebrados acuáticos en el tramo HB-EAD-008	41
Figura 30. Promedio del Índice BMWP/PAN considerando la calificación de todas las estaciones en cada año.....	42
Figura 31. Índice BMWP/PAN estimado para los tramos muestreados marzo 2024.....	43
Figura 32. Abundancia de peces obtenida durante este muestreo	44
Figura 33. Abundancia de individuos por cada familia capturada durante este muestreo ...	45
Figura 34. Abundancia de individuos por especies de peces registrada.....	46
Figura 35. Abundancia de especies de peces por cada tramo muestreado	47
Figura 36. Árbol de agrupamiento por índice de similaridad Bray Curtis para peces	48

Contenido de tablas

Tabla 1. Nombre y coordenadas de los sitios muestreados.	4
Tabla 2. Parámetros y escalas de valoración del Índice de Calidad de Hábitat.	5
Tabla 3. Rango de valores y categorías de la calidad de hábitat.	6
Tabla 4. Escala de tamaño de partícula de sedimentos.....	8
Tabla 5. Escala de calidad biológica del agua BMWP.....	12
Tabla 6. Índices de diversidad y su descripción	13
Tabla 7. Parámetros fisicoquímicos obtenidos durante el muestreo	22
Tabla 8. Metales disueltos en muestras de agua de los tramos muestreados.....	24
Tabla 9. Valores de metales en sedimentos.....	26
Tabla 10. Concentración de metales en tejido de <i>Gobiomorus dormitor</i> desde el año 2021 a 2024	30
Tabla 11. Géneros de perifiton registrados en los siguientes tramos muestreados	32

Tabla 12. Índices de diversidad biológica de peces por tramo muestreado	44
Tabla 13. Registro de la abundancia de especies de peces por cada tramo de muestreo	52
Tabla 14. Registro de géneros de macroinvertebrados acuáticos por tramo muestreado	53
Tabla 15. Metales totales presentes en las muestras de agua de cada tramo	60
Tabla 16. Metales disueltos presentes en las muestras de agua.....	61
Tabla 17. Metales presentes en muestras de sedimento.	63

Resumen Ejecutivo

Entre el 12 y el 15 de marzo, y el 12 de abril de 2024, se llevó a cabo el Monitoreo Hidrobiológico y la evaluación de la condición ecosistémica de arroyos en el área de influencia de Cobre Panamá, en conformidad con los estándares del EsIA Categoría III, aprobado para el Proyecto Mina de Cobre Panamá. Durante este período, se recolectaron muestras en siete estaciones: seis de ellas ubicadas dentro de la zona definida como cercana y lejana al efecto de la mina en tres cuencas principales (Caimito, San Juan de Turbe y Petaquilla), y una estación de referencia sin intervención del proyecto en el Río Hoja.

Se tomaron muestras de agua, sedimento y arraigo para evaluar los principales cambios en la calidad del hábitat. Se analizó la diversidad y abundancia de especies de peces, géneros de macroinvertebrados acuáticos y perifiton.

Los resultados de laboratorio muestran que en promedio las concentraciones de las diferentes variables, en especial los metales no varían entre estaciones de referencia, cercanas o lejanas al proyecto. Estas variables pueden aumentar en los ríos de referencia como en los tramos cercanas o lejanos al proyecto. Esto indica que hay otros factores diferentes a la operación, como las elevadas precipitaciones que ocurren durante los muestreos, que genera cambios en su concentración. La comparación histórica de las mediciones fisicoquímicas de agua y sedimentos tampoco muestra diferencias significativas lo que reafirmaría que la operación no es un factor de modificación de la calidad del agua o sedimentos en los ríos que rodean su operación.

Los tramos muestreados en este periodo de gestión segura mantienen altas calificaciones en la calidad del hábitat con condiciones propicias para la vida acuática. Esta es una característica que se ha mantenido en los muestreos de la etapa de operación indicando que la estructura física de los tramos (velocidad de la corriente, profundidad y tipo de material del lecho, estabilidad y vegetación de las riberas) no depende de la operación de la mina.

Este primer monitoreo anual en la fase de preservación y gestión segura PGS muestra similaridad en los resultados de biodiversidad de todas las comunidades con los periodos previos de operación. Lo que pone en evidencia que la ecología y biodiversidad de ríos y arroyos alrededor de Cobre Panamá, no está determinada por la operación o no de la mina.

Introducción

La empresa Minera Panamá S.A. (MPSA) se encuentra ubicada en el distrito de Donoso, provincia de Colón, en la región central de la vertiente del Caribe de Panamá. Según la clasificación climática de Köppen, el área presenta un clima tropical muy húmedo, con promedio anual de precipitaciones entre 3500 a 6000 mm, siendo una de las regiones del istmo con mayor precipitación anual.

La zona se caracteriza por presentar cuencas cortas con cabeceras de relativa alta pendiente y suelos superficiales típicos de la selva pluvial hiper-húmeda. Es por ello por lo que los arroyos que fluyen por su área de influencia presentan cambios abruptos en la carga de sólidos suspendidos, baja disponibilidad de nutrientes y aguas de escorrentía naturalmente ácidas generada por los ácidos húmicos resultantes de la descomposición de hojarasca, en base a estos datos se genera una condición ecohidrológica extrema y una biodiversidad acuática capaz de resistir estos permanentes estados de disturbio natural. Esto implica que de manera natural y recurrente a los diferentes arroyos en monitoreo llegan por escorrentía sedimentos con carga naturales de metales dada su historia y condiciones geológicas particulares.

En tal sentido se formuló el Plan de Monitoreo de Ecosistemas de Agua Dulce que se encuentra en ejecución desde el año 2012 bajo el marco conceptual de un Programa de Monitoreo de Efectos Ambientales (EEM por sus siglas en inglés), dirigido a asegurar que los controles ambientales implementados sobre los cuerpos de agua existentes alrededor de la mina sean efectivos en la mitigación de los impactos generados.

Actualmente la empresa Minera Panamá se encuentra en cuidado y mantenimiento para garantizar la estabilidad física y química de los ecosistemas ambientales y las demás estructuras, sin embargo, los monitoreos acuáticos de los principales afluentes al proyecto continúan.

En este informe se presentan las metodologías implementadas para la colecta de muestras de agua, sedimento, arraigo, perifiton, macroinvertebrados acuáticos y peces, los respectivos resultados obtenidos e interpretación y conclusiones del muestreo realizado del 12 al 15 de

marzo y el 12 de abril de 2024 para el Monitoreo Hidrobiológico y condición ecosistémica de arroyos en el área de influencia de Cobre Panamá.

Metodología

Área de Estudio y sitios de muestreo

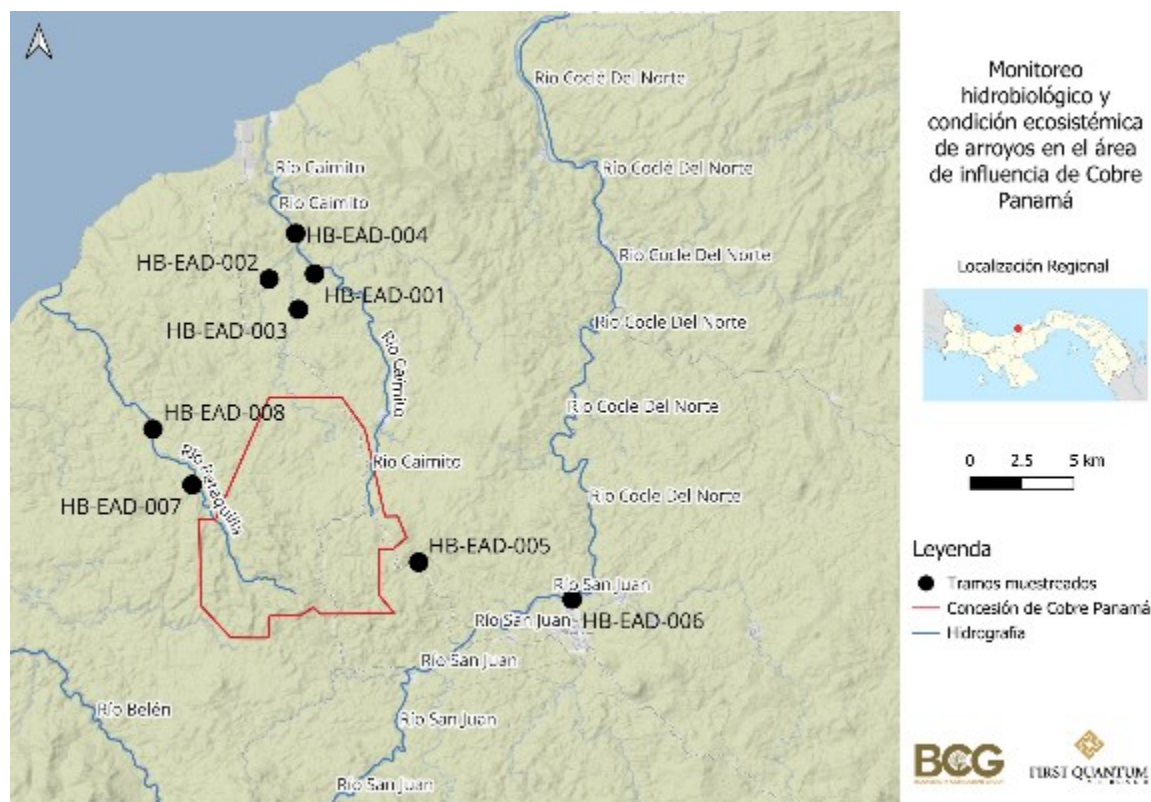


Figura 1. Ubicación de los tramos muestreados.

El programa de Monitoreo de Efectos Ambientales (EEM por sus siglas en inglés), fue diseñado para monitorear los efectos de la operación minera sobre las cuencas hidrográficas que rodean al proyecto. Esto incluye las tres cuencas de los ríos Petaquilla, Caimito y San Juan de Turbe (Río Botija).

Los Puntos de Muestreo Cercano (**PMC**), son los puntos de muestreo que están ubicados tan cerca como sea posible de la operación, pero aguas abajo de una hipotética zona de mezcla. Los Puntos de Muestreo Lejano (**PML**), son los sitios de muestreo alejados de la zona de mezcla, en donde se supone ha ocurrido una dilución importante de las descargas; actualmente, se ha realizado la actualización de la codificación de estos sitios, esta nueva

codificación se compone de los acrónimos **HB** (Hidrobiológico) y **EAD** (Ecosistemas de Agua Dulce).

Los puntos PMC, PML y las Áreas de Referencia (**Ref.**) fueron determinados en la línea base (2012) dentro de las tres cuencas principales que potencialmente están bajo la influencia de la operación del Proyecto Mina de Cobre Panamá, en la figura 1 se observa los tramos donde fueron establecidos los puntos de monitoreo y en la Tabla 1 se presentan las coordenadas de cada uno, además de los nuevos códigos implementados por Minera Panamá.

Este muestreo se realizó durante dos giras a campo, todos los tramos se muestrearon del 12 al 15 de marzo de 2024 a excepción del tramo HB-EAD-003, el cual se muestreo el 12 de abril de 2024. El tramo de referencia HB-EAD-002* no fue posible muestrearse debido a dificultades para ingresar al sitio.

Tabla 1. Nombre y coordenadas de los sitios muestreados.

CÓDIGO SITIO MONITOREO	RÍO	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS		DESCRIPCIÓN
			ESTE	NORTE	
HB-EAD-001	Río Hoja	Referencia	537121	990012	Ubicado sobre el brazo principal
HB-EAD-002*	Río Rinconcito	Referencia	535002	989768	Ubicado sobre un pequeño tributario.
HB-EAD-003	Ríos Del Medio y Caimito	Punto de Muestreo Cercano	536373	988352	Sobre río Del Medio o Uvero, aguas abajo de la descarga de los relaves.
HB-EAD-004		Punto de Muestreo Lejano	536244	991898	Ubicado sobre el cauce del río Caimito.
HB-EAD-005	Ríos Botija y San Juan	Punto de Muestreo Cercano	541972	976567	Sobre el río Botija, aguas abajo del tajo, en San Benito.
HB-EAD-006		Punto de Muestreo Lejano	549121	974840	Sobre el río San Juan de Turbe, más alejado del tajo.
HB-EAD-007	Río Petaquilla	Punto de Muestreo Cercano	531420	980178	Sobre el cauce del río Petaquilla, en campamento Lata, aguas abajo de los tajos Colina y Valle grande.
HB-EAD-008		Punto de Muestreo Lejano	529595	982766	Ubicado aguas abajo en el río Petaquilla, próximo a un potrero.

En los tramos muestreados se estimó el índice de caracterización de hábitat según Cornejo A. *et al.*, (2019). Se tomaron muestras de agua, sedimento, arraigo, además del muestreo de peces, macroinvertebrados algas del perifiton, de acuerdo a los siguientes métodos.

Descripción de hábitat

La descripción de las variables ecológicas de los tramos muestreados se elaboró según el Protocolo 3 de caracterización de hábitat de Cornejo A. et al., (2019). La evaluación de hábitat incluye 10 parámetros que se valoran numéricamente del 1 al 20 en orden ascendente de calidad, siendo el valor 0 la condición pobre o menos deseable y el valor 20 la condición óptima. La suma de los valores da como resultado una clasificación final de calidad de hábitat.

Tabla 2. Parámetros y escalas de valoración del Índice de Calidad de Hábitat.

Parámetro	Escala
Heterogeneidad y estabilidad del sustrato disponible	0-20
Empotramiento del sustrato	0-20
Relación Profundidad y Velocidad	0-20
Deposición de sedimentos	0-20
Estado del Flujo del Cauce	0-20
Alteración del Cauce	0-20
Frecuencia de Rápidos	0-20
Estabilidad de la Ribera Izquierda	0-10
Estabilidad de la Ribera Derecha	0-10
Vegetación Protectora de la Ribera Izquierda	0-10
Vegetación Protectora de la Ribera Derecha	0-10
Amplitud de la Vegetación Ribereña Izquierda	0-10
Amplitud de la Vegetación Ribereña Derecha	0-10
Valor Mínimo del Índice	0
Valor Máximo del Índice	200

La evaluación del hábitat se define como la evaluación de la estructura física circundante que influye en la calidad del recurso hídrico y en la condición de la comunidad acuática residente. El método de evaluación de la calidad del hábitat utilizado se basa en los Protocolos de

Bioevaluación Rápida (Barbour et al., 1999) de la (USEPA, 1993) y categoriza los hábitats como óptimos, subóptimos, marginales y pobres según la siguiente puntuación.

Tabla 3. Rango de valores y categorías de la calidad de hábitat.

Calidad de Hábitat	Rango
Óptimo	166-200
Subóptimo	113-165
Marginal	60-112
Pobre	0-59

Calidad de agua y sedimentos

Los datos de conductividad, potencial de Hidrógeno (pH), temperatura y oxígeno disuelto fueron medidos con un Multiparámetro marca HANNA modelo H198194 (Figura 2). Se recolectaron muestras de agua para análisis de Alcalinidad mediante el método de titulación SM-2320-B, Carbono Orgánico Total (SM-5310-C), Cianuro Total (EPA 335.2), fluoruros, cloruros, bromuros, nitratos y sulfatos mediante cromatografía de iones (SM-4110-B), demanda bioquímica de oxígeno (SM-5210-D), demanda química de oxígeno (SM-5220-D), Nitrógeno total mediante el método de espectrofotometría (DIN-EN-ISO-11905-1), dureza total por titulación (SM-2340-C), sólidos suspendidos por el método gravimétrico (SM-2540-D) y metales pesados mediante los métodos EPA-6020-B, EPA 335.2 y para sedimentos EPA 200.7. Todas las muestras para el análisis de metales en agua y sedimento fueron procesadas y analizadas por el laboratorio ALS.



Figura 2. Toma de muestras de agua y sedimento en el tramo HB-EAD-007.



Figura 3. Toma de muestras de agua y sedimento en el tramo HB-EAD-007.

Muestreo de Arraigo

En campo se tomó muestras de sedimento con un tubo de sección circular con superficie de 78.5 cm^2 insertado en el sedimento hasta una profundidad de 10 cm para colectar un aproximado de 758 cm^3 de sustrato.

El sustrato fue secado hasta lograr humedad constante inferior al 20%, luego cernido a través de una batería de tamices con la siguiente progresión geométrica: 8 mm, 4mm, 2mm, 1mm, 0.5 mm, 0.25 mm, 0.125 mm, 0.075 mm y 0.063 mm. Las fracciones correspondientes a cada tamaño de partícula fueron pesadas hasta 0.01 gramos y tabuladas para obtener la gráfica de distribución del tamaño de grano para cada tramo.

Para el análisis de las fracciones se adoptó la escala Wentworth de tamaño de partículas, que define una serie de clases en intervalos que incrementan a una potencia de dos (x^2). el porcentaje de arraigo se expresa como el porcentaje de la muestra que corresponde a sedimento fino inferior a 0.5 mm (500 micras de diámetro). Se preparó una gráfica de barras con las proporciones acumuladas de sedimento según la granulometría como aproximación al grado de arraigo, interpretando que una mayor proporción de sedimentos finos de diámetro inferior a 0.250 mm corresponde a un mayor arraigo.

Tabla 4. Escala de tamaño de partícula de sedimentos.

Escala de tamaño de partículas de sedimento de Wentworth	
Categoría de tamaño	Diámetro de la partícula (mm)
Canto rodado	
Grande	128-256
Pequeño	64-128
Grava	
Muy gruesa	32-64
Gruesa	16-32
Media	8-16
Fina	4-8
Muy fina	2-4
Arena	
Muy gruesa	1-2
Gruesa	0.5-1
Media	0.25-0.5
Fina	0.125-0.25
Muy fina	0.0625-0.125
Limo	<0.0625

Muestreo de perifiton

Para el muestreo de perifiton se realizó el raspado de 10 cuadrantes de 9 cm² en la superficie de distintas piedras abarcando todos los hábitats para obtener una muestra cuantitativa e identificar los géneros de perifiton y estimar la abundancia presente en cada tramo, el material raspado se depositó en frascos con 100 ml de agua destilada y se fijó con 2 ml de Lugol y solución transeau para su posterior identificación taxonómica.

Para la observación de las algas perifíticas se utilizó un microscopio, en el cual se realizó el montaje de la muestra utilizando una cámara de conteo Sedgewick-Rafter de un ml de capacidad para efectuar los análisis cuantitativos (Wetzel. 1983) (Figura 4).



Figura 4. Equipo empleado para el conteo de los organismos de la comunidad de perifiton. Microscopio invertido AE-31 y cámara de conteo tipo Sedgewick-Rafter.

Se realizó un barrido general de la cámara de conteo con la finalidad de tener una idea de la riqueza y abundancia de la muestra, cuando la muestra presentó una abundancia media a alta, se analizó la alícuota por campos al azar tratando de abarcar toda la placa y detener el conteo cuando se tuviera 300 individuos del taxón más abundante (APHA, 2017).

Cuando la muestra presentó una abundancia media a baja y al realizar el barrido general no se observaron organismos, se concentró la muestra dejándola sedimentar. Sin embargo, si la abundancia permaneció baja, se analizó la alícuota por filas o bandas intercaladas tratando

de abarcar toda la placa y se detuvo el conteo cuando se tuvo 300 individuos del taxón más abundante. En caso de no llegar a los 300 individuos, se realizó el conteo total de la placa (APHA, 2017). Si la muestra presentó una abundancia de individuos tan alta que dificulta el conteo, se regresó el mililitro al contenedor de la muestra y se realizó una dilución 1/2 la cual se tuvo en cuenta a la hora de realizar los cálculos.

La determinación taxonómica se realizó hasta nivel de género, la identificación estuvo apoyada en las claves taxonómicas de (Bicudo & Menezes. 2006) y (Roldan, 1992). Los resultados se registraron en individuos/ml y en individuos/cm².

Macroinvertebrados acuáticos

Para obtener una muestra representativa de macroinvertebrados acuáticos en cada tramo se implementó la técnica de muestreo multihábitat, que consiste en muestrear los principales hábitats acuáticos en proporción al porcentaje en que se encuentran representados en un tramo de 100 metros del río o afluente en evaluación. De esta manera en cada uno de los microhábitats (rápidos, pozas y vegetación emergente) se aplicó el método de kicking que consiste en remover el sustrato con el uso de los pies, sosteniendo una red tipo D con apertura de malla de 500 micras (Figura 5).



Figura 5. Técnica de kicking para el muestreo de macroinvertebrados acuáticos en el tramo HB-EAD-007.

Las muestras fueron preservadas en alcohol al 70% y trasladadas hasta el laboratorio para su identificación a nivel de familia, con la ayuda de las claves taxonómicas para Odonata (Ramírez, 2010), Trichoptera (Springer, 2010), Ephemeroptera (Flowers & De la Rosa, 2010), Diptera (Fusari et al., 2018), Coleoptera (Benetti *et al.*, 2018) y Hemiptera (Figueiredo M. *et al.*, 2018) además del conteo y estimación del Índice BMWP/PAN (Cornejo A. *et al.*, 2019).

El equipo utilizado para la identificación y fotografía de los macroinvertebrados acuáticos fue por medio de un estereoscopio marca Olympus, modelo SZX10, con objetivo 2X y cámara digital modelo DP28.

Índice BMWP/PAN

En este informe se analiza la comunidad de invertebrados del bento usando el índice BMWP/PAN sugerido como evaluador de la calidad de aguas superficiales de Panamá por Cornejo A. *et al.*, 2019. El Biological Monitoring Working Party (BMWP) fue creado en Inglaterra por Hellawell (1978), para analizar la tolerancia a la contaminación orgánica de familias de macroinvertebrados acuáticos, es decir para medir el efecto del aporte de aguas negras de origen humano, el cual causarían disminución de oxígeno en el agua receptora. Tanto el BMWP original como el BMWP/PAN califica las familias de macroinvertebrados más sensibles a la pérdida de oxígeno con el valor de 9 y las familias más resistentes a la anoxia con valor de 1. Este índice tiene una clara limitación en los pequeños arroyos tropicales y es que la lluvia y crecientes constantes modifican permanente los hábitats de las especies más sensibles y mantiene los de las especies tolerantes por lo que las calificaciones de contaminación no corresponden a tal fenómeno sino a el arrastre y perdida de hábitat como lo han expuesto diferentes autores recogidos en una reciente publicación para ríos y arroyos del mundo (Rueda-Delgado & Wantzen 2022).

El valor del índice BMWP/PAN se obtiene sumando el valor de intolerancia de todas las familias recolectadas en el tramo de muestreo, independientemente de la abundancia. Luego del cálculo del BMWP/PAN se clasifica la calidad biológica del agua en una escala de 0 a 150 en las seis categorías que se presentan en el siguiente cuadro.

Tabla 5. Escala de calidad biológica del agua BMWP.

Calidad del Agua	Valor	Color
Excelente	>150	
Buena	78-149	
Regular	59-77	
Contaminada	39-58	
Muy contaminada	20-38	
Extremadamente contaminada	< 19	

Peces

En cada tramo de 100 metros se muestrearon todos los hábitats disponibles haciendo uso de electropesca en secciones con profundidad igual o menor a 30 centímetros, chinchorro en pozas y orillas, además de red manual en zonas con vegetación riparia emergente o pozas pequeñas (Figura 6). Los peces que no fueron posible capturar fueron identificados hasta el nivel taxonómico más bajo posible mediante observación.

El muestreo se ejecutó durante un período de una hora en cada tramo, los peces fueron fotografiados vivos utilizando una Cámara Canon 7D Mark II equipada con lente macro de 60 mm y flash Canon MT-24EX Macro.

**Figura 6.** Técnicas de muestreo de captura de peces con el uso de electropesca y chinchorro.

Análisis estadístico

Los datos de diversidad y abundancia por sitio fueron procesados con el software PAST versión 4.03 para la estimación de los índices de diversidad alfa y beta. Mediante análisis multivariado de agrupación se elaboró un árbol de agrupamiento por similitud para las comunidades de peces y macroinvertebrados acuáticos con el índice Bray Curtis aplicando el método de agrupación jerárquica UPGMA. Se efectuaron análisis de componentes principales (PCA por sus siglas en inglés) para ordenar las variables fisicoquímicas de agua y sedimento y establecer en un plano cartesiano las variables como vectores que separan estaciones en función de la concentración de dichas variables o vectores principales. En este análisis las flechas o vectores mas distantes del centro son las que tienen mayor peso para diferenciar las estaciones.

Tabla 6. Índices de diversidad y su descripción.

Categoría	Nombre del Indicador	Descripción
Riqueza Específica	Taxa_S	Cantidad de especies distintas por grupo taxonómico.
Abundancia	Individuals	Cantidad de individuos registrados para cada grupo taxonómico.
Dominancia	Dominance_D	Los índices basados en la dominancia son parámetros inversos al concepto de uniformidad o equidad de la comunidad.
Índice de Dominancia	Simpson_1-D	Usado para cuantificar la biodiversidad de un hábitat. Toma un determinado número de especies presentes en el hábitat y su abundancia relativa.
Índice de Equidad	Shannon (H'')	Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a cuál especie pertenece un individuo escogido al azar.
Índice de Diversidad	Evenness	(E)expresa equitatividad en el reparto de los recursos, es decir la uniformidad en la importancia relativa de las distintas especies que habitan un sitio.
Índice de Equidad	Brillouin	Índice utilizado cuando la aleatoriedad de la muestra no puede garantizarse.
Riqueza Específica	Margalef	Transforma el número de especies por muestra a una proporción a la cual las especies son añadidas por expansión de la muestra.
Índice de Diversidad	Fisher_alpha	Este índice evalúa eficazmente la diversidad en función del número de individuos y del número de especies.
Índice de Dominancia	Berger-Parker	Este índice intrínseco simple expresa la importancia proporcional de la mayoría de las especies abundantes
Estimador de Diversidad	Chao-1	Es un estimador no paramétrico del número de especies en una comunidad basado en el número de especies raras en la muestra

Resultados y Discusión

Descripción de los tramos muestreados



Figura 7. Vista del tramo HB-EAD-001 (Referencia Hoja).

El tramo Ref. Hoja se ubica en las coordenadas UTM WGS 84 Lat. 537121 Lon. 990012, sobre el río Hoja, afluente del río Caimito. Se accede por helicóptero, aterrizando en el helipad C28 en un potrero con una residencia a menos de 500 metros. Este tramo del río Hoja presenta rápidos de corrientes fuertes, con un ancho estimado entre 30 a 50 metros, pozas profundas de más de 2 metros e islas con depósitos de material sedimentario. El margen izquierdo del tramo presenta alteraciones en su cobertura de bosque ripario, mientras que el margen derecho presenta árboles de entre 20 a 30 metros de altura y poca evidencia de intervención humana.



Figura 8. Vista del tramo HB-EAD-003 (PMC – Caimito).

Las coordenadas de este tramo son UTM WGS 84, Lat. 536373 Lon. 988352. Se accede mediante helicóptero, aterrizando en el punto denominado “Los Bajos” que se encuentra a orillas del Río del Medio en su parte baja.

La calidad del agua se encuentra bajo la influencia de las instalaciones del TMF de la mina presentando valores de conductividad superiores a las reportadas en los tramos de referencia.

La cobertura boscosa de los márgenes está afectada por la existencia de un potrero en su margen oeste y asentamientos humanos en el margen oriental.



Figura 9. Vista del tramo HB-EAD-004 (PML – Caimito).

El tramo HB-EAD-004 (PML Caimito) se ubica en las coordenadas UTM WGS 84 Lat. 536244 Lon. 991898. Se accedió mediante transporte en bote, navegando en dirección sur desde el embarcadero ubicado en el margen oeste del río Caimito frente a la comunidad del mismo nombre.

Durante el periodo de muestreo el río presentó evidencias de una reciente crecida, sus aguas se mantuvieron estables durante la jornada. El tramo abarca rápidos y pozas profundas con fuertes corrientes.

La vegetación riparia se encuentra en estado de madurez, con árboles de entre 15 a 25 metros de altura y sin evidencia de alteraciones por actividades antrópicas.



Figura 10. Vista del tramo HB-EAD-005 (PMC Botija).

El tramo PMC-Botija se ubica en la comunidad de San Benito, localizada a menos de un kilómetro desde la carretera. Las coordenadas del sitio son UTM WGS 84 Lat. 541972 Lon. 976567. Las márgenes del río Botija en este tramo están fuertemente afectadas por las actividades antrópicas, particularmente por la presencia de potreros y residencias. Aunque las márgenes se mantienen estables por la poca pendiente, la cobertura boscosa se extiende a pocos metros de la orilla. Las aguas son de velocidad moderada, poco profundas, con pozas que no excede los 2 metros de profundidad.

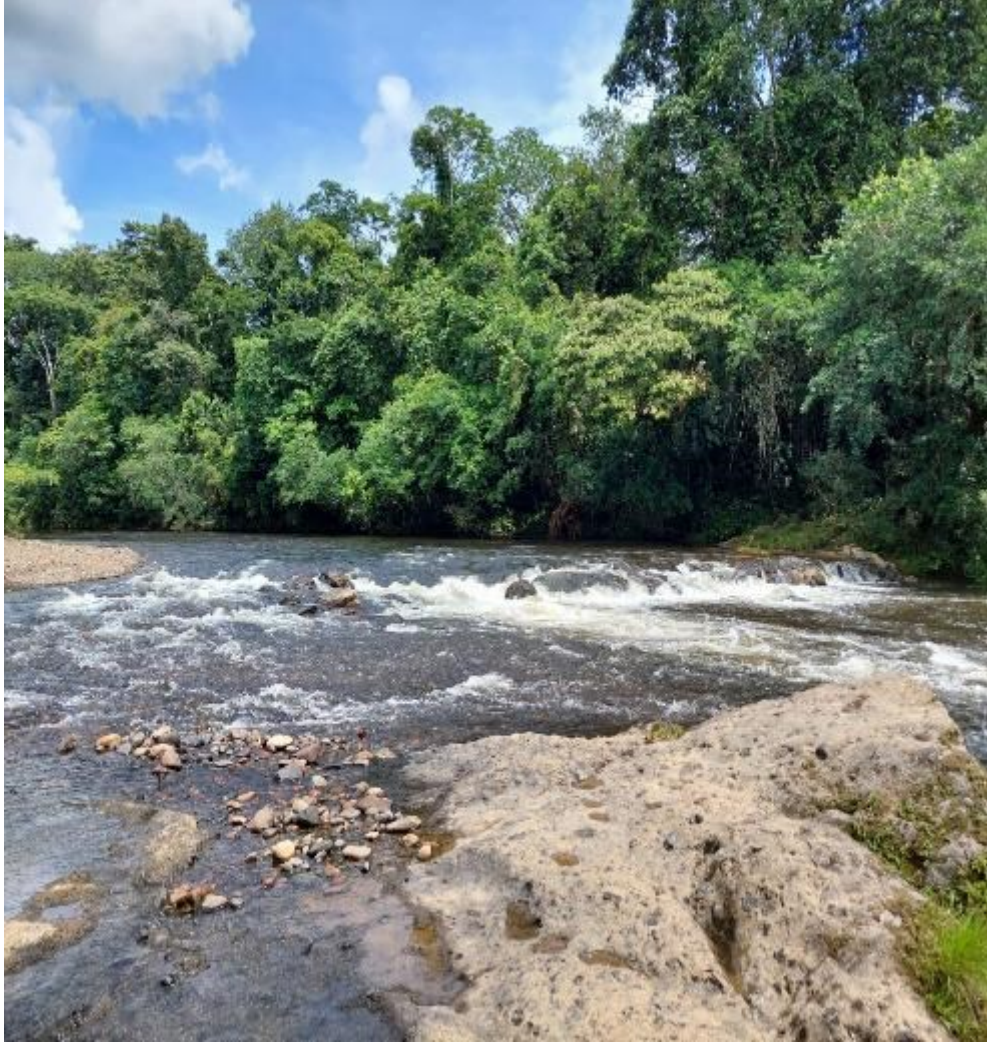


Figura 11. Vista del tramo HB-EAD-006 (PML Botija).

Las coordenadas del tramo PML Botija son UTM WGS 84 Lat. 549121 Lon. 974840. Al sitio se accede por una vía de acceso privada que atraviesa un potrero con cultivos de frutales. Las márgenes del río en este punto están alteradas por la habilitación de potreros, cultivos y residencias. Al momento del muestreo presentaba corrientes fuertes en los rápidos, producto de las lluvias recientes.

Hay presencia de islotes formados por la acumulación de rocas y sedimentos, lo que facilita el acceso a la zona de pozas y rápidos



Figura 12. Vista del tramo HB-EAD-007 (PMC Petaquilla).

Las coordenadas del tramo PMC Petaquilla son UTM WGS 84 Lat. 531420 Lon. 980178, y se accede por helicóptero aterrizando en el helipuerto del antiguo campamento Lata.

El área se encuentra bajo la influencia de la actividad minera ilegal y aguas abajo de la mina abandonada de Petaquilla. Las márgenes del río en este tramo se encuentran alteradas por la habilitación de potreros y trabajaderos, sin embargo, la tala aún no llega a las orillas del río, conservando algunos metros de cobertura boscosa riparia.

En este tramo las aguas fluyen a una velocidad moderada y son navegables en canoas de bajo calado. El lecho es principalmente rocoso y con pozas profundas.



Figura 13. Vista del tramo HB-EAD-008 (PML Petaquilla).

El tramo PML Petaquilla se ubica en las coordenadas UTM WGS 84 Lat. 529595 Lon. 982766, sus orillas se encuentran fuertemente intervenidas por actividades de agricultura, ganadería y extracción ilegal de oro. Se accede por helicóptero y se aterriza en un potrero cercano a la comunidad de Nueva Lucha ubicada aproximadamente a 500 metros en línea recta del tramo muestreado. El sitio corresponde con los eventos de muestreo anteriores y los presentados como parte de los alcances.

Este tramo transcurre en un ancho de aproximadamente 40 metros, con aguas de flujo lento y de poca profundidad (< 2.00 metros), con presencia de islas de material arrastrado por la corriente.

Caracterización del hábitat

Durante este muestreo, todos los tramos se mantuvieron con las mismas condiciones que el monitoreo anual de 2023 y monitoreos previos. Los tramos HB-EAD-001 (referencia río Hoja), HB-EAD-004 (río Caimito lejano), HB-EAD-006 (río Botija Lejano) y HB-EAD-007 (río Petaquilla cercano) fueron considerados hábitats con calidad óptima, mientras que el tramo HB-EAD-003 (Caimito cercano), HB-EAD-005 (río Botija cercano) y HB-EAD-008 (río Petaquilla lejano) registraron índice de caracterización de hábitat de calidad subóptima (Figura 14), es decir que algunos aspectos físicos de los tramos no tienen la máxima calificación, sin embargo no hay condiciones adversas para la vida acuática.

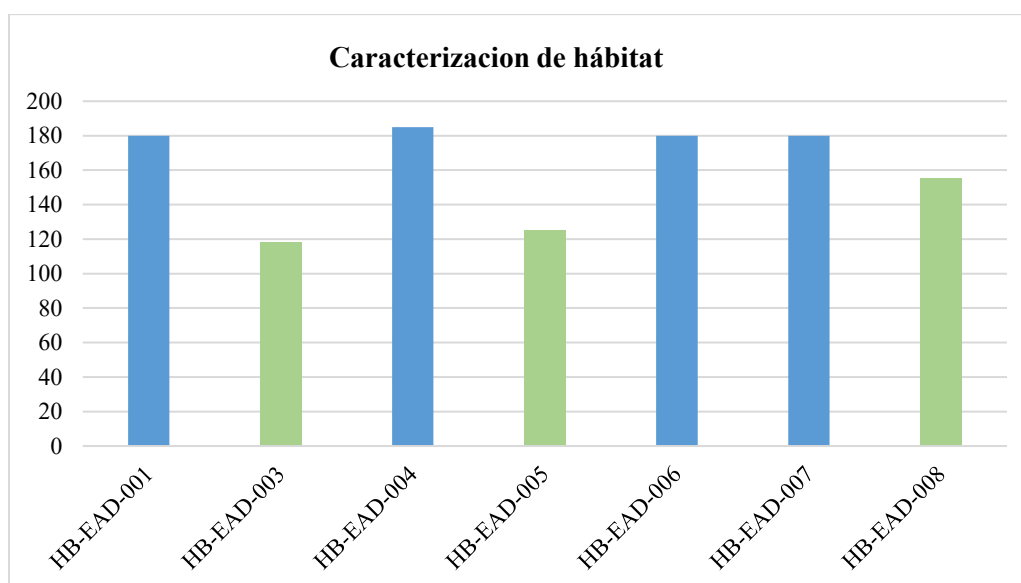


Figura 14. Índice de caracterización de hábitat de los tramos muestreado.

Desde la primera evaluación en el 2021, el índice de hábitat fluvial no ha variado debido a que no se ha presentado fuertes intervenciones o alteraciones humanas o naturales en el cauce y márgenes del río.

Parámetros fisicoquímicos del agua

En los resultados obtenidos de acuerdo con los parámetros fisicoquímicos, la conductividad registró un rango entre los 59 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 1461,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que el pH presenta un mínimo de 6,20 y un máximo de 7,09 y la temperatura del agua estuvo entre los 25,5 °C y 28,3 °C (Tabla 7).

Tabla 7. Parámetros físicoquímicos obtenidos durante el muestreo.

Parámetros	Unidad	LD	HB-EAD-001	HB-EAD-003	HB-EAD-004	HB-EAD-005	HB-EAD-006	HB-EAD-007	HB-EAD-008
			Río Hoja	Río Caimito		Río Botija		Río Petaquilla	
			Referencia	Cercano	Lejano	Cercano	Lejano	Cercano	Lejano
Fosfatos, PO ₄ -3	mg PO ₄ -3/L	0,012	< 0,012	< 0,012	< 0,012	---	< 0,012	< 0,012	< 0,012
Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ /L	2	6	10	12	9	9	< 2	< 2
Fósforo Total	mg P/L	0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Nitrógeno Kjeldahl	mg/L	0,033	< 0,033	0,081	< 0,033	0,062	< 0,033	0,048	0,066
Nitrógeno Total	mg N/L	0,024	0,351	0,347	0,292	0,274	0,178	0,241	0,238
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	3	30	5	41	3	< 3	< 3	< 3
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	1,0	22,8	51,3	23,2	---	16,4	12,0	13,3
Alcalinidad Bicarbonato	mg CaCO ₃ /L	1,0	22,8	< 1,0	23,2	< 0,010	2,5	12,0	13,3
Alcalinidad Carbonato	mg CaCO ₃ /L	1,0	< 1,0	< 0,004	< 1,0	0,274	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Cloruros, Cl-	mg/L	0,061	3,535	0,093	4,335	---	4,132	3,423	3,536
Bromuro, Br-	mg/L	0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004	---	< 0,004	< 0,004	< 0,004
Fluoruros, F-	mg/L	0,002	0,023	0,081	0,069	---	0,021	0,013	0,014
Sulfatos, SO ₄ -2	mg/L	0,050	4,841	0,099	76,80	---	5,084	4,376	3,875
Nitrógeno Amoniacal	mg NH ₃ -N/L	0,008	0,019	0,081	< 0,008	0,062	< 0,008	0,048	0,081
Amoniaco	mg NH ₃ /L	0,010	< 0,010	< 0,2	< 0,010	0,075	< 0,010	0,059	15,63
Dureza Total	mg/L	0,30	23,12	0,003	98,80	33,45	22,11	17,81	< 0,2
Nitratos	mg/L	0,2 1	0,5	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,003
Nitritos	mg/L	0,002	0,006	< 0,012	0,003	0,002	< 0,002	0,004	< 0,05
Nitrógeno Orgánico Total	mg/L	---	< 0,05	10	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,012
Conductividad	µS/cm	---	82	1461,2	248	92	69	59	59
pH		---	6,69	7,09	6,51	6,2	6,58	6,58	6,58
Temperatura	°C	---	26,68	28,38	25,7	25,56	25,9	25,51	26,67

El parámetro de fósforo total registró valores bajo el límite de detección. En cuanto a la demanda química de oxígeno, nitrógeno orgánico total, sólidos suspendidos totales (a excepción de HB-EAD-004), sulfatos y nitratos presentaron valores dentro de los rangos establecidos por Decreto Ejecutivo No. 75 (De 4 de junio de 2008) Por el cual se dicta la norma primaria de calidad ambiental y niveles de calidad para las aguas continentales de uso recreativo con y sin contacto directo.

Las variables fisicoquímicas medidas, al igual que en muestreos previos, dada su medición similar en todas las estaciones, no se ordenan de manera diferencial y por ello se ubican en su mayoría en el origen del plano cartesiano del Análisis de Componentes Principales (PCA por sus siglas en inglés) efectuado para estaciones y variables (Figura 15). De este patrón se diferencia las estaciones HB-EAD-003 y HB-EAD-004 del río Caimito con mayores dureza y conductividad respecto a los demás sistemas.

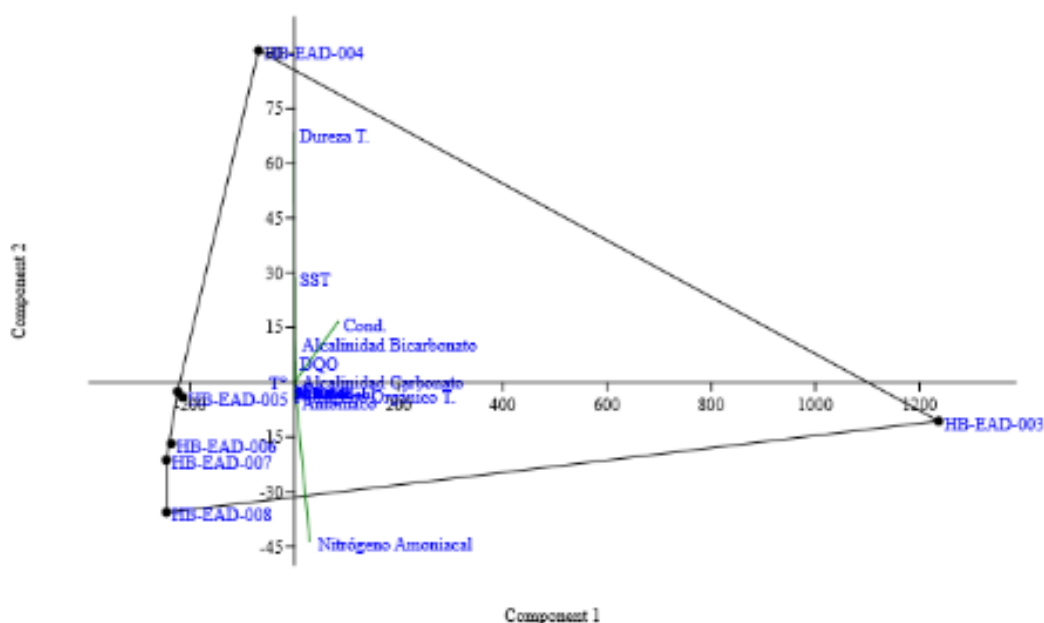


Figura 15. Análisis PCA para parámetros fisicoquímicos en agua.

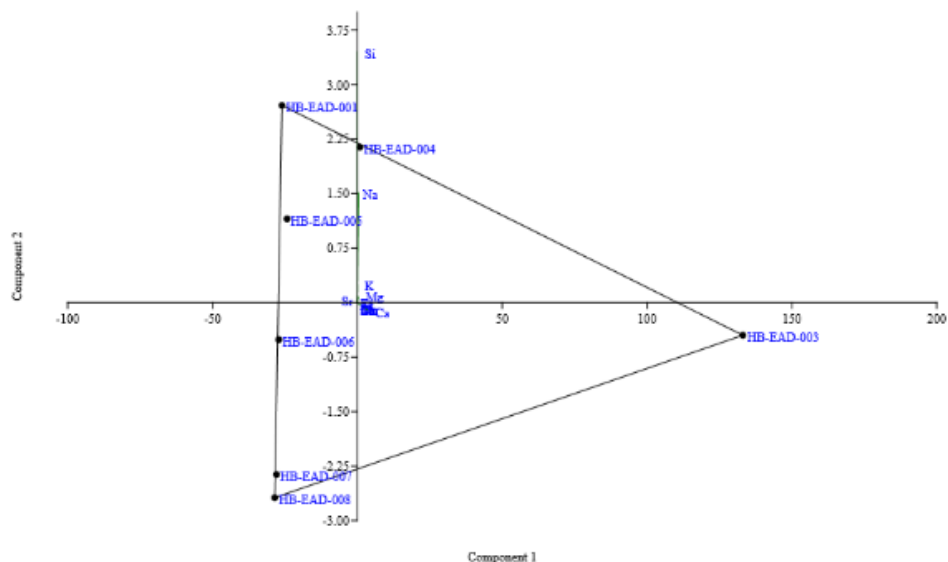
Metales en agua

Los resultados reflejan que las concentraciones de metales disueltos en antimonio (Sb), arsénico (As), berilio (Be), bismuto (Bi), cadmio (Cd), cromo (Cr), fósforo (P), litio (Li), mercurio (Hg), selenio (Se), plata (Ag), talio (Tl) y titanio (Ti) estuvieron por debajo de los límites de detección (Tabla 8). Mientras tanto los metales que superaron el límite de detección en el muestreo se encuentran en la (Tabla 8).

Tabla 8. Metales disueltos en muestras de agua de los tramos muestreados.

Metales disueltos	Unidad	LD	HB-EAD-001	HB-EAD-003	HB-EAD-004	HB-EAD-005	HB-EAD-006	HB-EAD-007	HB-EAD-008
			Río Hoja	Río Caimito		Río Botija		Río Petaquilla	
			Referencia	Cercano	Lejano	Cercano	Lejano	Cercano	Lejano
Aluminio Disuelto (Al)	mg/L	0.003	0,073	0,051	0,097	0,035	0,031	0,012	< 0,003
Boro Disuelto (B)	mg/L	0.003	0,012	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Bario Disuelto (Ba)	mg/L	0.0006	0,0207	0,0222	0,0236	0,0148	0,0173	0,0120	0,0136
Calcio Disuelto (Ca)	mg/L	0.1	6,01	163,6	32,61	7,70	4,95	4,26	3,66
Cobre Disuelto (Cu)	mg/L	0.0003	0,0031	0,0021	0,0029	0,0053	0,0013	0,0035	0,0022
Hierro Disuelto (Fe)	mg/L	0.016	0,339	0,046	0,346	0,202	0,186	0,154	0,304
Potasio Disuelto (K)	mg/L	0.02	0,99	5,69	1,80	0,68	0,79	0,56	0,49
Magnesio Disuelto (Mg)	mg/L	0.002	1,570	16,18	4,175	3,454	2,022	1,742	1,576
Manganeso Disuelto (Mn)	mg/L	0.0002	0,0092	0,1143	0,0243	0,0496	0,0066	0,0143	0,0203
Molibdeno Disuelto (Mo)	mg/L	0.0002	0,0033	0,1083	0,0221	0,0009	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Sodio Disuelto (Na)	mg/L	0.01	6,17	21,13	8,97	5,34	5,01	3,91	3,81
Silicio Disuelto (Si)	mg/L	0.1	11,75	6,14	10,63	10,44	8,70	7,15	6,83
Estroncio Disuelto (Sr)	mg/L	0.0002	0,05774	0,9518	0,1873	0,04719	0,03878	0,02741	0,02539

Los metales disueltos que ordenan y diferencian las estaciones son el silicio, sodio y calcio que son medidos en mayor proporción en el río Caimito y en menor concentración en el río Hoja como lo muestra el siguiente PCA (Fig. 16). Este mayor valor este asociado al uso de cal en el IMR que descarga al río del Medio

**Figura 16.** Análisis de PCA para metales disueltos en muestras de agua.

Una representación de resultados fisicoquímicos de los monitoreos en las estaciones de referencia, cercanas y lejanas a la mina efectuados desde 2019 a marzo de 2024 (fig. 16A) muestra variaciones similares en los tres tipos de estaciones. La variación del 50 % de los datos representados por las cajas puede ser mayor en cualquiera de las estaciones según cada parámetro, siendo típicamente la alcalinidad mayor en los sistemas cercanos, relacionados con el uso de cal para evitar la dilución de metales, en tanto el cobre que es la razón de la presencia de la mina en esta ubicación es mayor en los sistemas cercanos y de referencia y menor en los sitios lejanos, geológicamente diferentes.

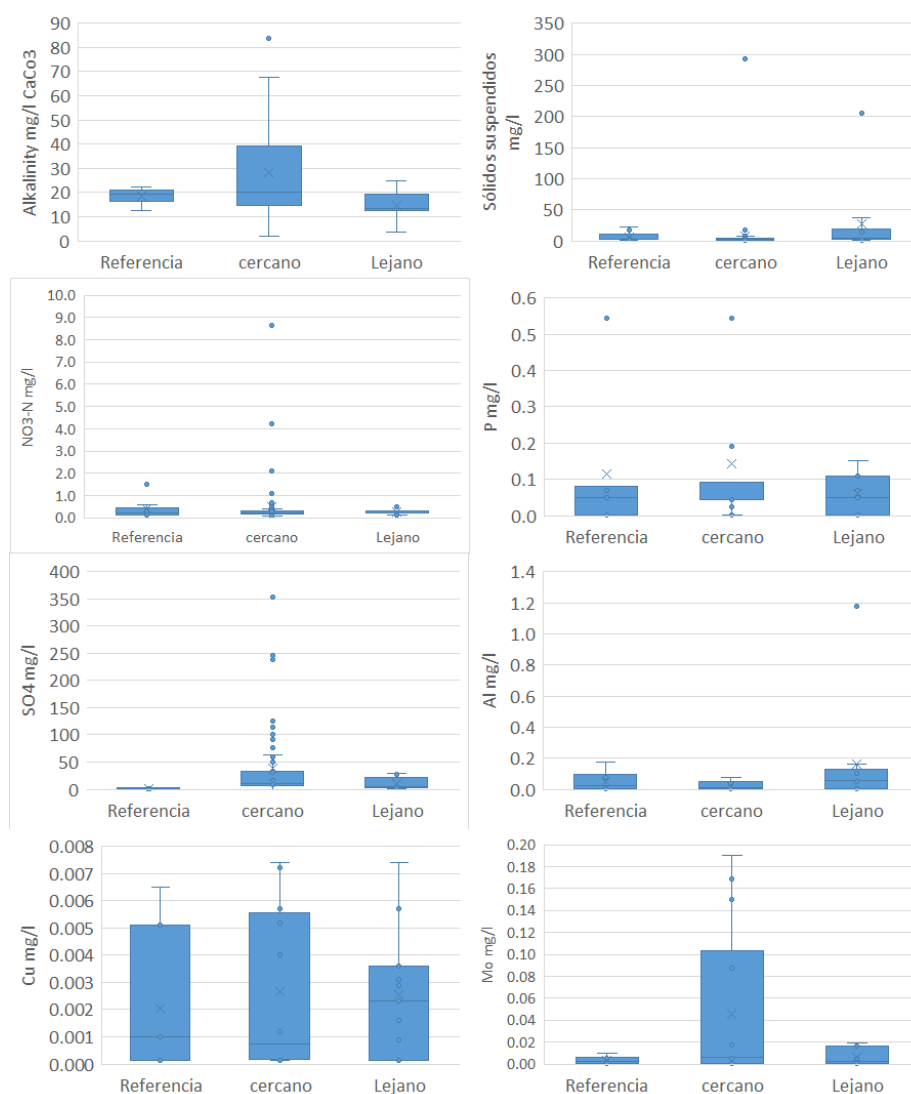


Figura 16A. Representación de variables fisicoquímicas del agua en las estaciones de cumplimiento diferenciadas entre referencia, cercanas y lejanas a la mina en el lapso 2021 a 2024. Las cajas representan la dispersión del 50 % de los datos respecto a la media y la línea delgada la desviación estándar de los datos.

Metales en sedimento

La siguiente tabla indica sólo los metales que sobrepasaron el límite de detección según el análisis de metales presentes en las muestras de sedimento recolectadas para este muestreo:

Tabla 9. Valores de metales en sedimentos.

Metales	Unidad	LD	HB-EAD-001	HB-EAD-003	HB-EAD-004	HB-EAD-005	HB-EAD-006	HB-EAD-007	HB-EAD-008
Aluminio	mg/kg	2.0	7503	6183	3154	7921	16588	18873	16130
Bario	mg/kg	0.3	36,2	19,8	10,5	45,8	142,3	50,8	70,3
Calcio	mg/kg	1.5	391,6	785,2	654,1	1026	2130	775,3	513,8
Cobalto	mg/kg	1.0	3,0	5,2	5,2	9,7	12,0	15,9	10,5
Cromo	mg/kg	1.0	4,0	4,1	8,1	39,9	19,7	45,8	18,4
Cobre	mg/kg	0.8	26,6	33,5	12,7	169,8	39,0	304,0	144,1
Hierro	mg/kg	2.5	8271	16050	39056	25554	31378	65608	29164
Potasio	mg/kg	3.5	158,7	366,1	49,7	245,1	302,5	555,1	468,4
Magnesio	mg/kg	3.0	839,6	1131	469,6	2333	5788	5601	4505
Manganeso	mg/kg	2.0	85,7	441,5	185,7	682,3	925,7	868,0	706,7
Molibdeno	mg/kg	0.6	< 0,6	< 0,6	< 0,6	5,3	< 0,6	9,2	< 0,6
Sodio	mg/kg	3.0	37,6	66,1	< 3,0	< 3,0	< 3,0	51,1	58,7
Níquel	mg/kg	1.0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	6,3	2,5	4,4	5,1
Fósforo	mg/kg	5.0	80,2	128,5	219,4	208,2	419,6	469,4	234,0
Estroncio	mg/kg	0.7	7,3	10,0	4,3	8,0	22,8	7,8	6,5
Titanio	mg/kg	0.4	381,0	369,1	408,2	158,2	364,5	314,6	262,7
Vanadio	mg/kg	0.7	52,6	65,4	185,4	51,6	64,2	142,4	77,1
Zinc	mg/kg	0.6	16,5	36,0	177,9	78,8	44,7	183,4	120,7

El componente 1 del PCA para metales en las muestras de sedimento ubica en el extremo positivo a HB-EAD-007 y HB-EAD-006 (PML-Botija) reflejando más concentraciones de aluminio, y en el componente 2 en su extremo negativo se ubica el tramo HB-EAD-004 (PML-Caimito) (Figura 17).

Este mismo patrón de concentraciones de metales en sedimentos se observó durante los muestreos de los años 2021 al 2023, es decir durante la fase operativa de la mina de cobre, y no se observan diferencias entre los patrones de concentración de metales en sedimentos

registrados durante la operación y los registrados durante este periodo, en el que la mina no se encuentra operativa.

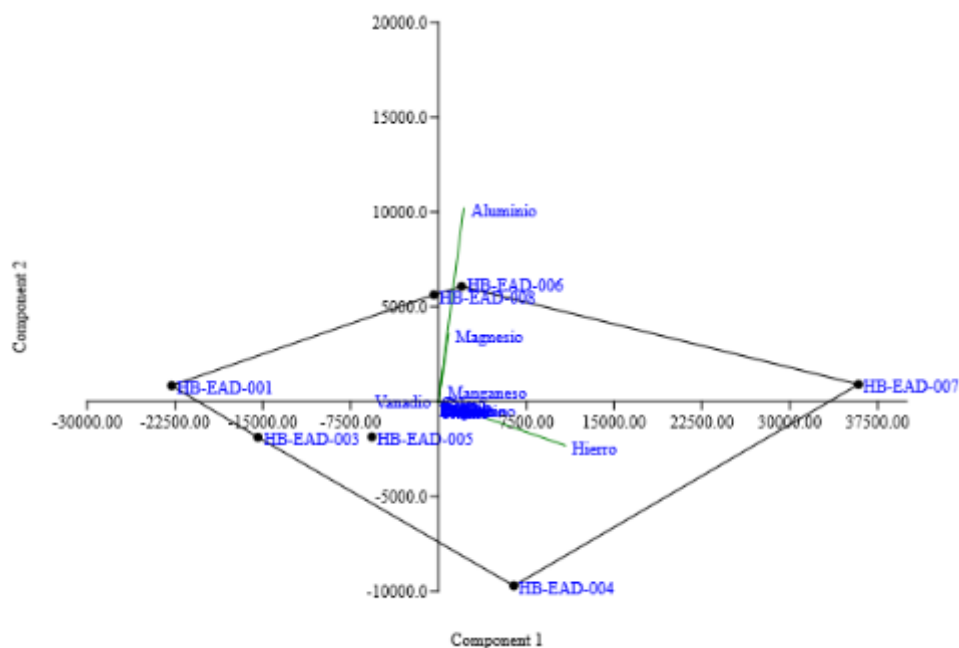


Figura 17. Análisis de PCA para metales en sedimento.

Metales en tejido de peces

Los resultados del análisis de metales en tejido de *Gobiomorus dormitor* indica que los metales antimonio, berilio, cadmio, cobalto, cromo, estaño, molibdeno, níquel, plata, plomo, talio, uranio y vanadio registraron valores inferiores al límite de detección del método de detección, en todas las muestras. En consecuencia, se excluyen del análisis de los resultados y se presentan a continuación los resultados para los metales detectados y de interés del monitoreo de efectos ambientales de proyecto.

El aluminio (Al) presentó una concentración mínima de 0.200 mg/kg en el punto HB-EAD-007, mientras que el valor máximo registrado fue de 2.050 mg/kg en HB-EAD-004. El promedio general de aluminio en las muestras fue de 0.787 mg/kg. Esta variabilidad es coincidente con el esperado elevado aporte geológico de aluminio resultante de las lluvias que caracterizaron el momento de muestreo.

Para el arsénico (As), elemento que no es detectado en ninguna de las muestras de agua, no en los registros de descarga de la instalación de manejo de relaves, los valores oscilaron entre 0.056 mg/kg en HB-EAD-005 y 1.783 mg/kg en HB-EAD-004, con un promedio de 0.583 mg/kg. La diferencia entre los valores mínimos y máximos sugiere que la acumulación de arsénico no es completamente uniforme entre los distintos puntos de muestreo, con algunos sitios mostrando concentraciones notablemente más altas.

En el caso del cobre (Cu), se registró un valor mínimo de 0.099 mg/kg en HB-EAD-004 y un máximo de 0.194 mg/kg en HB-EAD-005, con un promedio de 0.138 mg/kg. Aunque hay variaciones entre los puntos de muestreo, la diferencia entre el valor más bajo y el más alto es relativamente pequeña, lo que indica una distribución bastante homogénea de este metal en las muestras analizadas.

El mercurio (Hg), que como el As elemento que no es detectado en ninguna de las muestras de agua, no en los registros de descarga de la instalación de manejo de relaves, mostró una menor variabilidad, con un valor mínimo de 0.0174 mg/kg en HB-EAD-005 y un máximo de 0.0686 mg/kg en HB-EAD-008-A. El promedio general fue de 0.034 mg/kg, lo que sugiere que la presencia de mercurio es relativamente estable entre los diferentes puntos de muestreo, sin diferencias drásticas. Por último, el zinc (Zn) tuvo una concentración mínima de 4.000 mg/kg en HB-EAD-008-B y una máxima de 6.730 mg/kg en HB-EAD-005, con un promedio de 5.087 mg/kg. Aunque la diferencia entre los valores extremos es mayor en comparación con otros metales, el rango de variación sigue siendo moderado.

Comparación de resultados entre sitios en función de la distancia al proyecto

El análisis estadístico comparando las concentraciones de metales entre los sitios cercanos y los sitios lejanos respecto al proyecto muestra que no hay diferencias significativas en ninguno de los metales evaluados. Se utilizó una prueba t-test para comparar los valores entre los sitios de muestreo cercanos (HB-EAD-005, HB-EAD-007) y los sitios de muestreo lejanos (HB-EAD-004, HB-EAD-008). En todos los casos, los resultados indican que las diferencias en las concentraciones de aluminio, mercurio, arsénico, cobre y zinc no son estadísticamente significativas. Esto sugiere que la mina de Cobre Panamá no es un factor determinante en la variabilidad de los niveles de metales en las muestras analizadas.



Figura 18. Gráfico de barras mostrando los valores registrados para metales en tejido de *Gobiomorus dormitor*

Dado que no se encontraron diferencias significativas, es probable que otros factores, como las condiciones ambientales generales o la bioacumulación natural de estos metales, sean los principales determinantes de sus concentraciones en el tejido biológico analizado. Si se requiere un análisis más detallado, se podría considerar una mayor cantidad de puntos de muestreo o realizar estudios adicionales sobre las posibles fuentes de estos metales en el ecosistema.

Análisis multianual de metales en tejido muscular de *Gobiomorus dormitor*

Tabla 10. Concentración de metales en tejido de *Gobiomorus dormitor* desde el año 2021 a 2024

Año	Punto	Aluminio (Al)	Arsénico (As)	Cobre (Cu)	Mercurio (Hg)	Zinc (Zn)
2021	HB-EAD-001	3.0	0.5	0.4	0.0	16.1
2021	HB-EAD-002	3.3	0.0	0.4	0.0	12.9
2021	HB-EAD-003	3.0	0.1	0.4	0.0	14.1
2021	HB-EAD-004	3.0	0.6	0.4	0.0	11.9
2021	HB-EAD-006	3.0	0.1	0.4	0.0	9.2
2021	HB-EAD-007	3.0	0.1	0.8	2.5	14.3
2021	HB-EAD-008	3.0	0.1	0.9	5.3	13.0
2022	HB-EAD-001	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
2022	HB-EAD-003	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
2022	HB-EAD-004	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
2023	HB-EAD-001	0.1	1.5	0.1	0.0	6.3
2023	HB-EAD-002	0.1	0.2	0.1	0.0	5.2
2023	HB-EAD-003	7.5	0.6	1.6	0.0	0.1
2023	HB-EAD-004	1.6	1.0	0.1	0.0	7.6
2023	HB-EAD-008	0.1	0.4	0.1	0.0	0.1
2024	HB-EAD-001	1.2	1.7	0.1	0.0	5.7
2024	HB-EAD-004	2.1	1.8	0.1	0.0	4.1
2024	HB-EAD-005	0.2	0.1	0.2	0.0	6.7
2024	HB-EAD-006	0.8	0.2	0.2	0.0	5.7
2024	HB-EAD-007	0.2	0.1	0.1	0.0	4.3
2024	HB-EAD-008	0.7	0.1	0.1	0.1	5.0
2024	HB-EAD-008	0.4	0.2	0.1	0.0	4.0

El análisis multianual de metales en *Gobiomorus dormitor* revela una tendencia decreciente en las concentraciones de aluminio y zinc, mientras que los niveles de arsénico, cobre y mercurio han permanecido relativamente estables entre 2021 y 2024. Los resultados del ANOVA indicaron que las diferencias temporales en aluminio y zinc son estadísticamente significativas, lo que sugiere una reducción progresiva de estos metales en el tejido de los peces a lo largo del tiempo.

Sin embargo, al comparar las concentraciones de metales entre los sitios de referencia, sitios de muestreo cercanos y sitios de muestreo lejanos al proyecto, no se identificaron diferencias significativas ($p > 0.05$), lo que nuevamente indica que la actividad de Cobre Panamá no está relacionada con la variabilidad en la bioacumulación de estos metales.

Estos resultados sugieren que la disminución observada en aluminio y zinc responde a cambios ambientales generales en la zona de estudio. Es posible que procesos naturales como la remoción de metales en la columna de agua, cambios en la biodisponibilidad o modificaciones en la dieta y el hábitat de *Gobiomorus dormitor* estén influyendo en esta tendencia. Asimismo, la ausencia de variaciones significativas en arsénico, cobre y mercurio sugiere una exposición constante a estos metales en todo el ecosistema, sin que se deba a una influencia de la mina de Cobre Panamá.

Perifiton

Las Bacillariophytas presentaron una abundancia predominante en comparación con los demás grupos, lo que es habitual, debido que éste presenta plasticidad taxonómica, lo que le lleva a ser muy numeroso y diverso.

la composición exhibió abundancias dominantes de un taxa en particular para cada tramo, excepto HB-EAD-004, que obtuvo una baja representación de taxas y abundancias, resultados que pueden ser causados por determinados factores, tales como, fluctuaciones climáticas o factores antrópicos, que provocan una alteración en el sustrato o arrastre aguas abajo de la comunidad en mención.

Por su parte, el tramo HB-EAD-001, en comparación con las demás, presentó una estructura más ordenada, teniendo en cuenta que las abundancias de los individuos entre las distintas

especies que la conformaron fueron más homogéneas entre sí, así mismo, este tramo obtuvo la mayor contribución taxonómica con 15 géneros, seguido de HB-EAD-005 con 12, HB-EAD-006 y HB-EAD-007 con 10 y por último el tramo HB-EAD-004 y el tramo HB-EAD-008 registraron 7 y 4 géneros respectivamente (Tabla 11).

Entre aquellos taxones considerados como bioindicadores, se resaltan dos (*Spirogyra*, *Zygnema*, y *Mougeotia sp*), que, por su sensibilidad y alta abundancia, insinúan que la eutrofia tiende a ser una condición sobresaliente para los tramos.

En el área de muestreo también se presentaron algunos géneros de perifiton que se pueden ajustar a la temporalidad o condiciones y son consideradas tolerantes a cambios en la calidad del agua, siendo el caso de *Navicula sp*, *Encyonema sp*, *Cymbella sp*, *Eunotia sp*, entre otras.

Aunque la diversidad y abundancia de perifiton fluctúa naturalmente en función de factores climáticos, estacionalidad y condiciones cambiantes de microhábitat, debido al pulso de inundación, los géneros de perifiton presentes en los cuerpos de agua no han variado, es decir que, a pesar de las variaciones inter e intra anuales, la composición de taxas se mantiene en todos los sitios muestreados independiente de su posición relativa respecto al proyecto, e incluso, independiente de si el proyecto está o no en operación.

Tabla 11. Géneros de perifiton registrados en los siguientes tramos muestreados.

	HB-EAD-001	HB-EAD-004	HB-EAD-005	HB-EAD-006	HB-EAD-007	HB-EAD-008
Cymbellaceae						
<i>Cymbella sp</i>	37	0	0	3	0	0
Gomphonemataceae						
<i>Encyonema sp</i>	8	0	0	0	0	1
Oedogoniaceae						
<i>Oedogonium sp</i>	0	0	21	9	2	92
Spirogyraceae						
<i>Spirogyra sp</i>	0	5	72	300	0	181
Zygnemataceae						
<i>Zygnema sp</i>	0	0	9	0	0	0
Achnanthaceae						
<i>Achnanthes sp</i>	23	0	0	0	1	0
Bacillariaceae						
<i>Hantzschia sp</i>	0	2	0	0	0	0
<i>Nitzschia sp</i>	6	3	1	5	2	0

Gomphonemataceae						
<i>Gomphonema sp</i>	2	0	9	1	25	2
Closteriaceae						
<i>Closterium sp</i>	0	0	0	1	0	0
Eunotiaceae						
<i>Eunotia sp</i>	9	0	1	0	9	1
Fragilariaceae						
<i>Fragilaria sp</i>	14	2	0	8	1	0
Fragilariaceae						
<i>Synedra sp</i>	8	0	3	142	20	14
Naviculaceae						
<i>Gyrosigma sp</i>	41	0	0	0	0	0
<i>Navicula sp</i>	300	0	2	0	9	0
Pinnulariaceae						
<i>Pinnularia sp</i>	4	0	3	6	0	0
Rivulariaceae						
<i>Rivularia sp</i>	6	0	0	0	0	0
Microcoleaceae						
<i>Lyngbya sp</i>	14	0	6	0	0	1
<i>Oscillatoria sp</i>	3	2	1	0	0	0
Surirellaceae						
<i>Surirella sp</i>	27	0	0	1	0	0
Zygnemataceae						
<i>Mougeotia sp</i>	0	0	165	0	25	0
Total	502	14	293	476	394	292

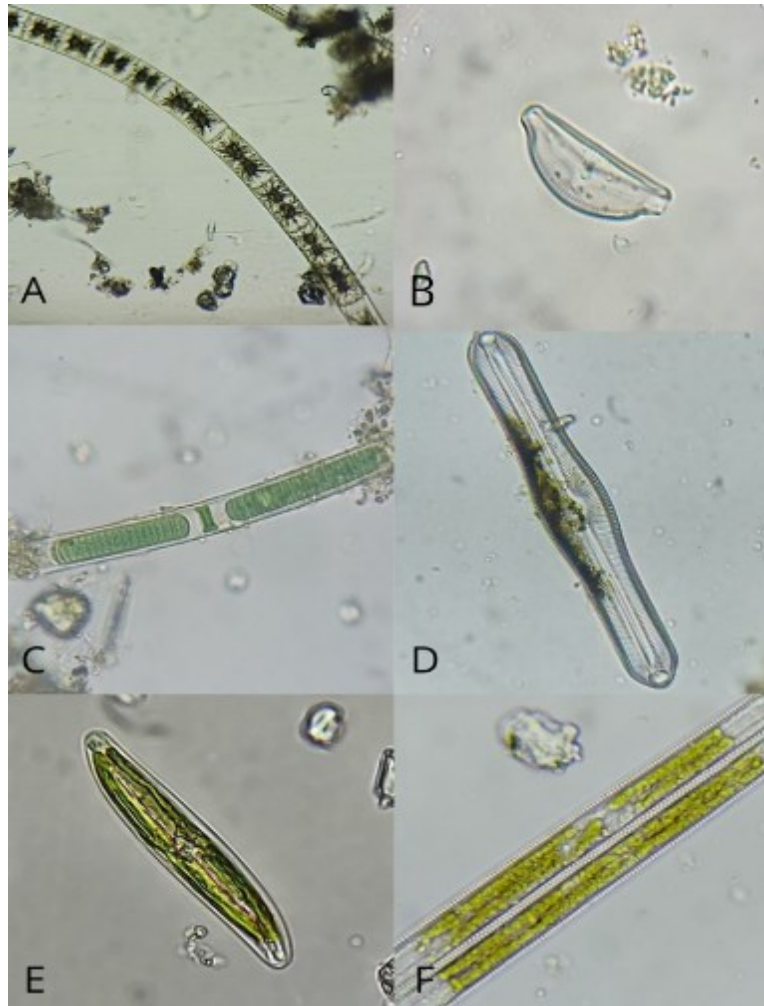


Figura 19. Registro fotográfico de algunos taxos registrados en el área de estudio.

A) *Zygnema sp.* B) *Cymbella sp.* C) *Lyngbya sp.* D) *Pinnularia sp.* E) *Gyrosigma sp.* F) *Synedra sp.*

Macroinvertebrados acuáticos

En este muestreo se registró 3,548 individuos, distribuidos en 16 órdenes y 47 familias y 79 géneros de macroinvertebrados acuáticos, a nivel de orden, Ephemeroptera represento la mayor abundancia de individuos lo cual representó el 31% de las colectas de macroinvertebrados para este muestreo. El orden Ephemeroptera, en su mayoría son raspadores y recolectores, con muy pocos géneros predadores; son constituyentes biológicos fundamentales en la cadena trófica y del equilibrio de los ecosistemas acuáticos, tanto en su estado larval, aportando biomasa y procesando materia orgánica, como en su estado adulto, aportando energía al ecosistema al ser presas principales de múltiples organismos terrestres (cita).

El segundo orden más abundante durante este muestreo fue Decapoda, representando el 24% de las colectas. Trichoptera fue el tercer orden más abundante con el 19%, este es uno de los órdenes más diversos de macroinvertebrados acuáticos.

Estos tres órdenes componen el 74 % de la muestra, el 26 % restante estuvo compuesto por 13 órdenes de macroinvertebrados acuáticos representados por Coleoptera (7 %), Diptera (6 %), Odonata (5 %), Mesogastropoda (4 %), Hemíptera (2 %), el resto de los órdenes no superaron el 1% de individuos capturados.

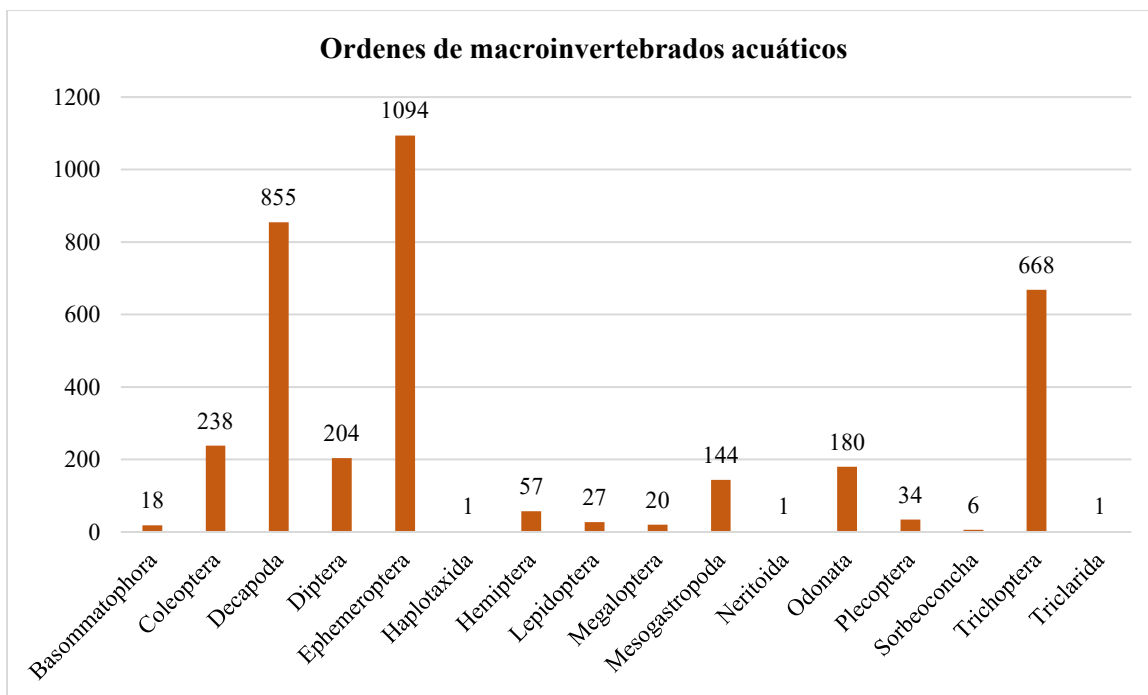


Figura 20. Abundancia de individuos según los órdenes de macroinvertebrados acuáticos presentes en todos los tramos.

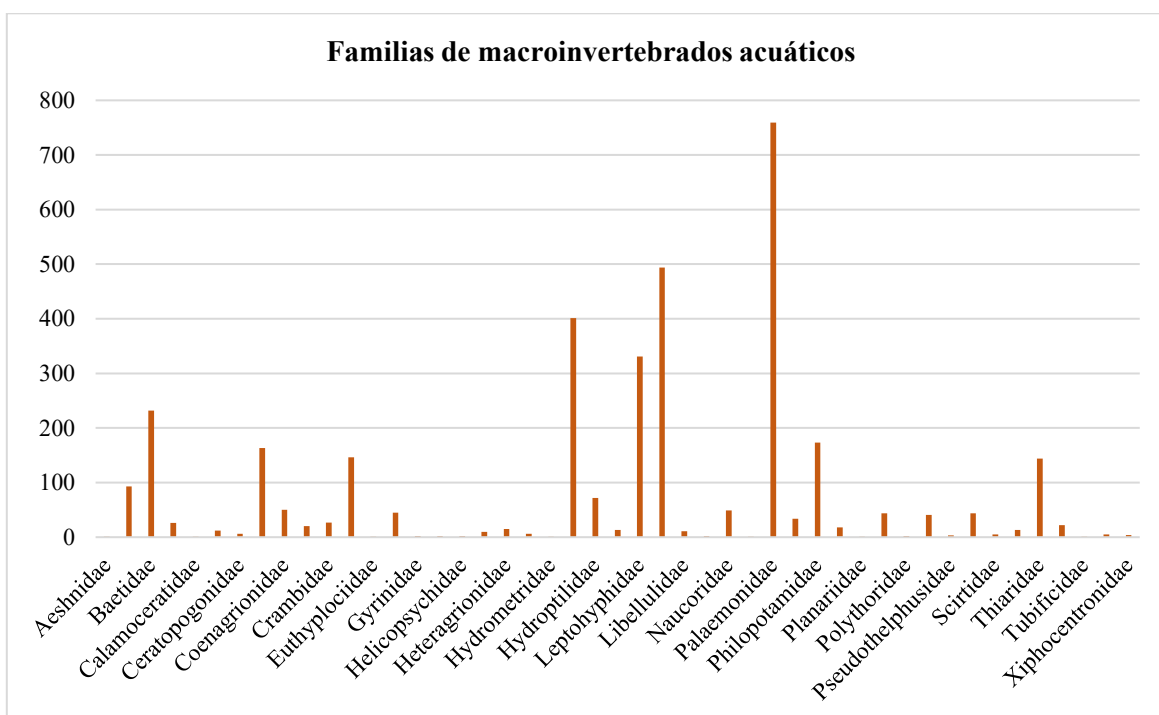


Figura 21. Familias de macroinvertebrados acuáticos presentes.

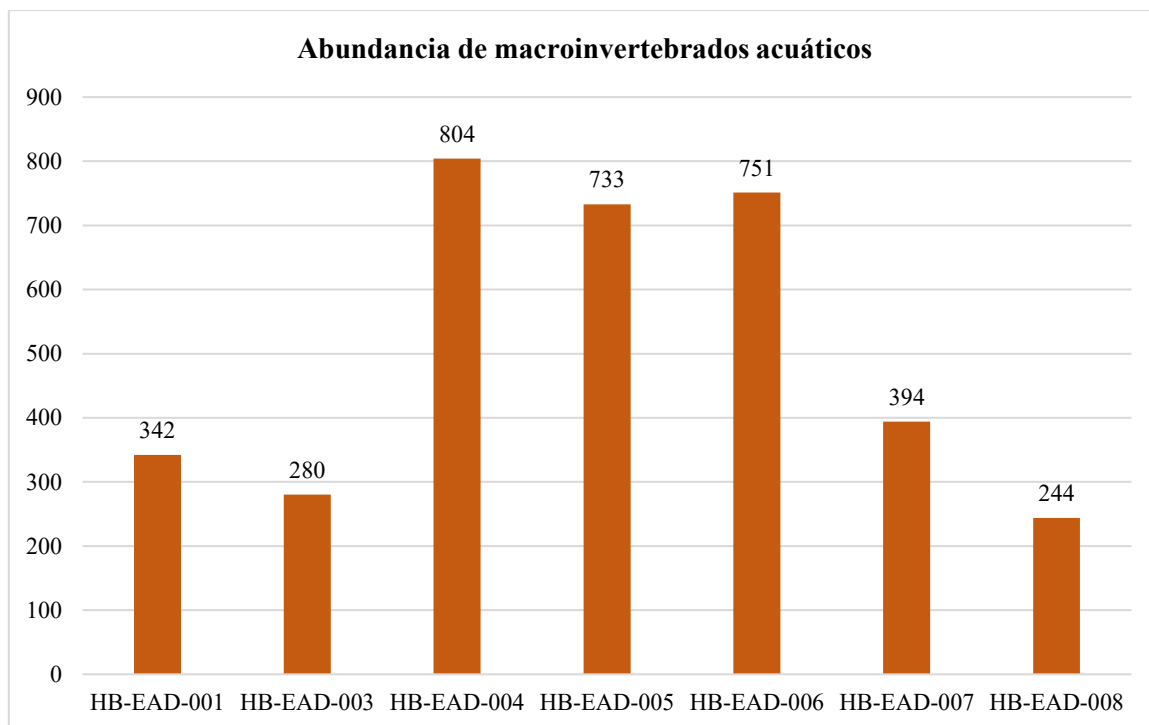


Figura 22. Abundancia de individuos de macroinvertebrados acuáticos presentes en cada tramo.

Las familias de macroinvertebrados acuáticos mejor representadas del orden Ephemeroptera fueron Leptophlebiidae con 494, Leptohyphidae 331 y Baetidae con 232 individuos. Respecto al orden Decapoda, las familias con mayor abundancia fueron Palaemonidae con 759 individuos, Atyidae con 93 y Pseudothelphusidae con tres.

El orden Trichoptera estuvo representado por ocho familias, de las cuales la más abundante fueron Hydropsychidae con 401, seguido de Philopotamidae con 173 y Hydroptilidae con 72 individuos.

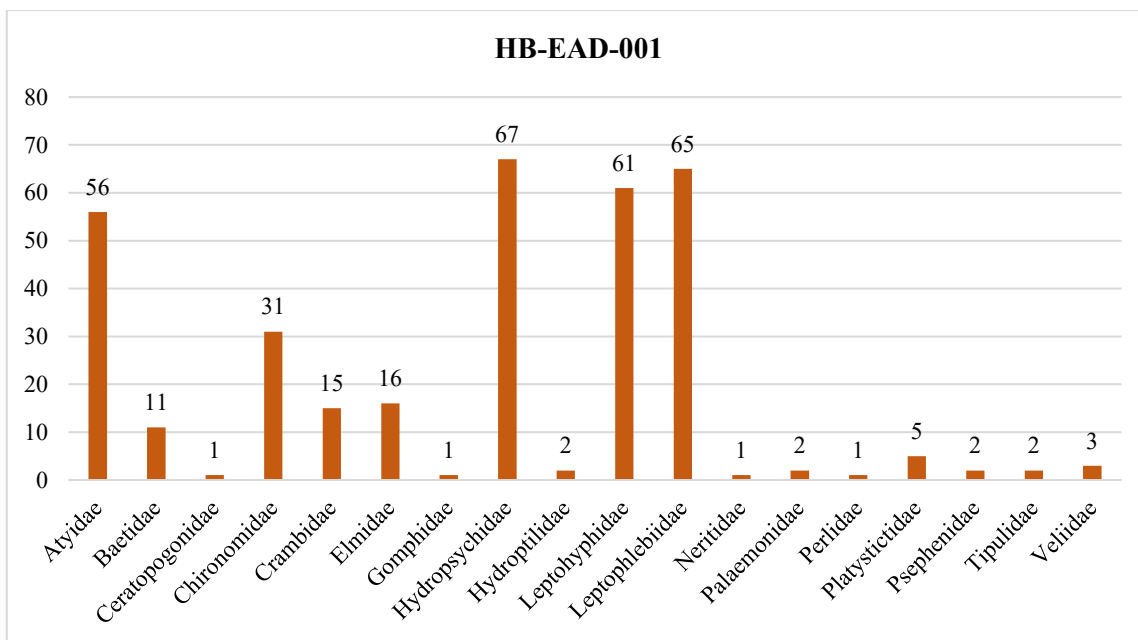


Figura 23. Abundancia de individuos por familias de macroinvertebrados acuáticos en el tramo HB-EAD-001.

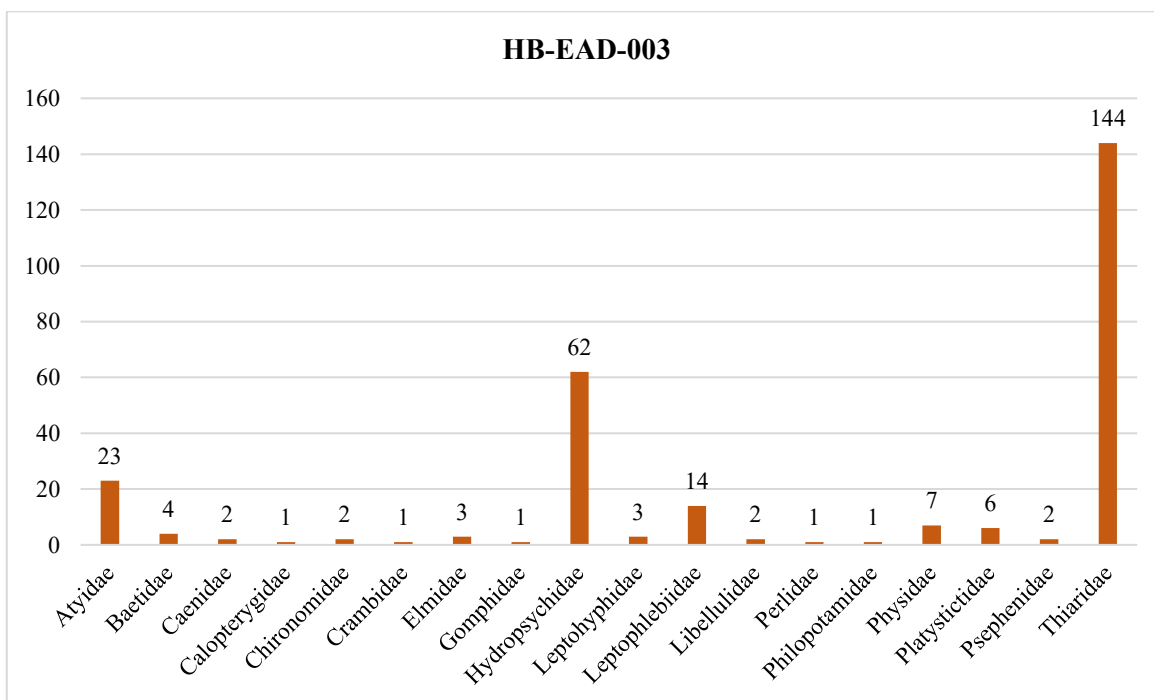


Figura 24. Abundancia de individuos por familias de macroinvertebrados acuáticos en el tramo HB-EAD-003.

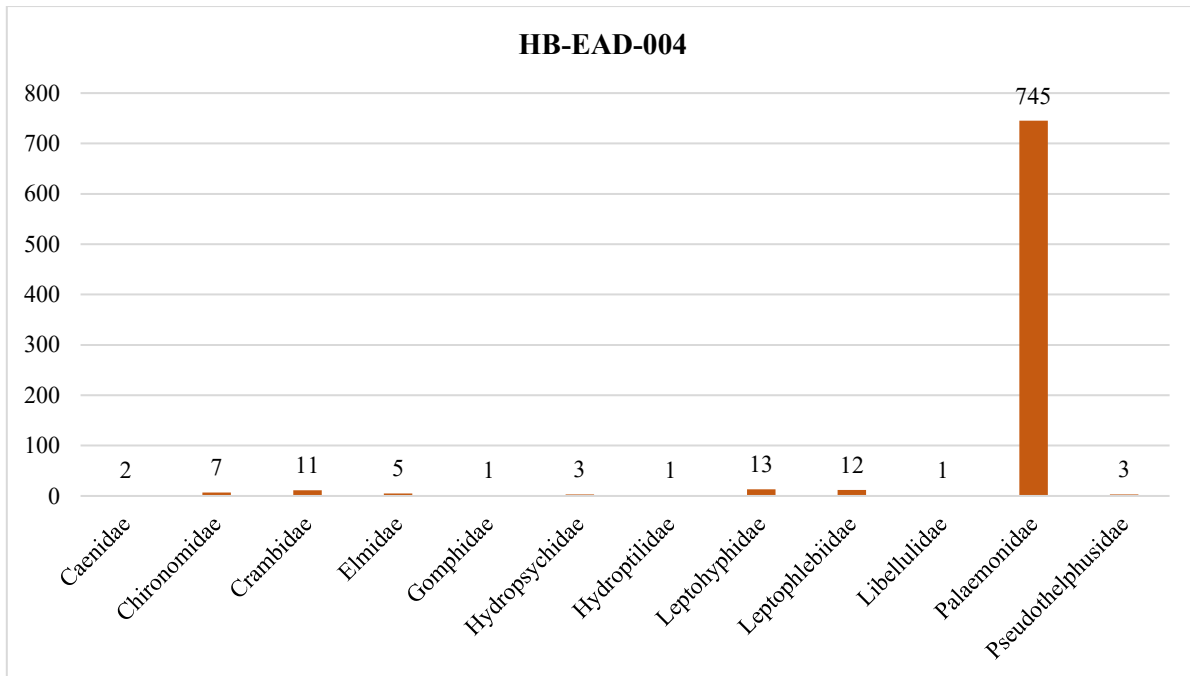


Figura 25. Abundancia de individuos por familias de macroinvertebrados acuáticos en el tramo HB-EAD-004.

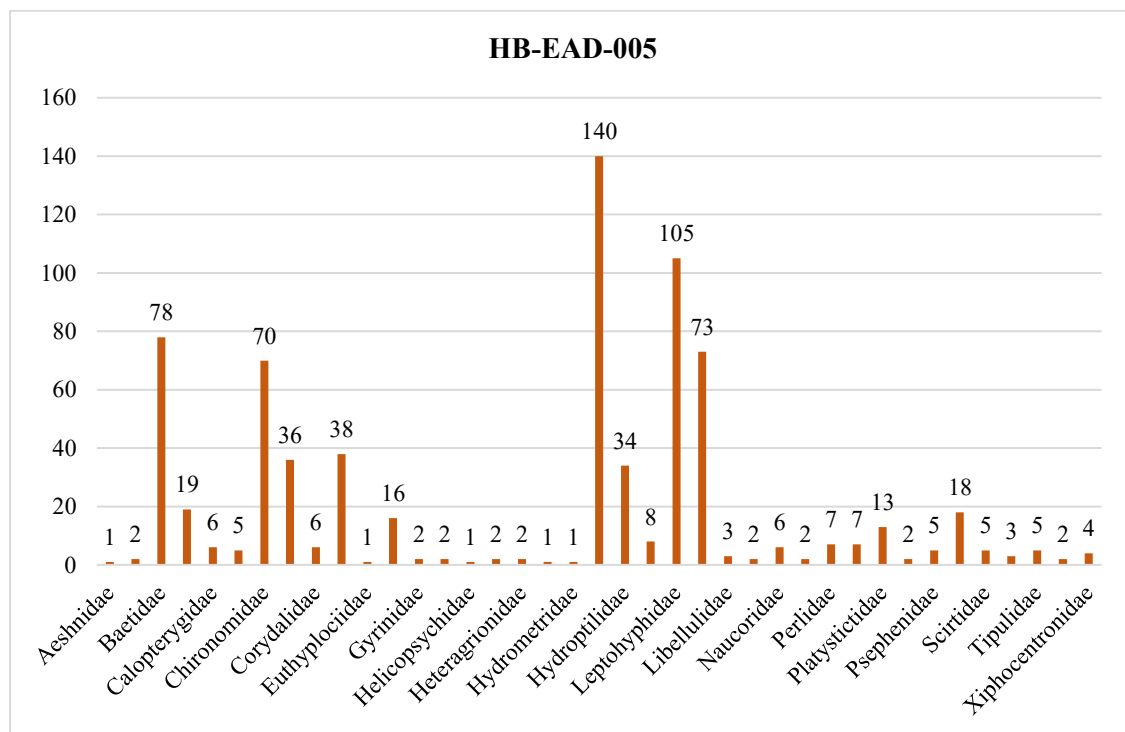


Figura 26. Abundancia de individuos por familias de macroinvertebrados acuáticos en el tramo HB-EAD-005.

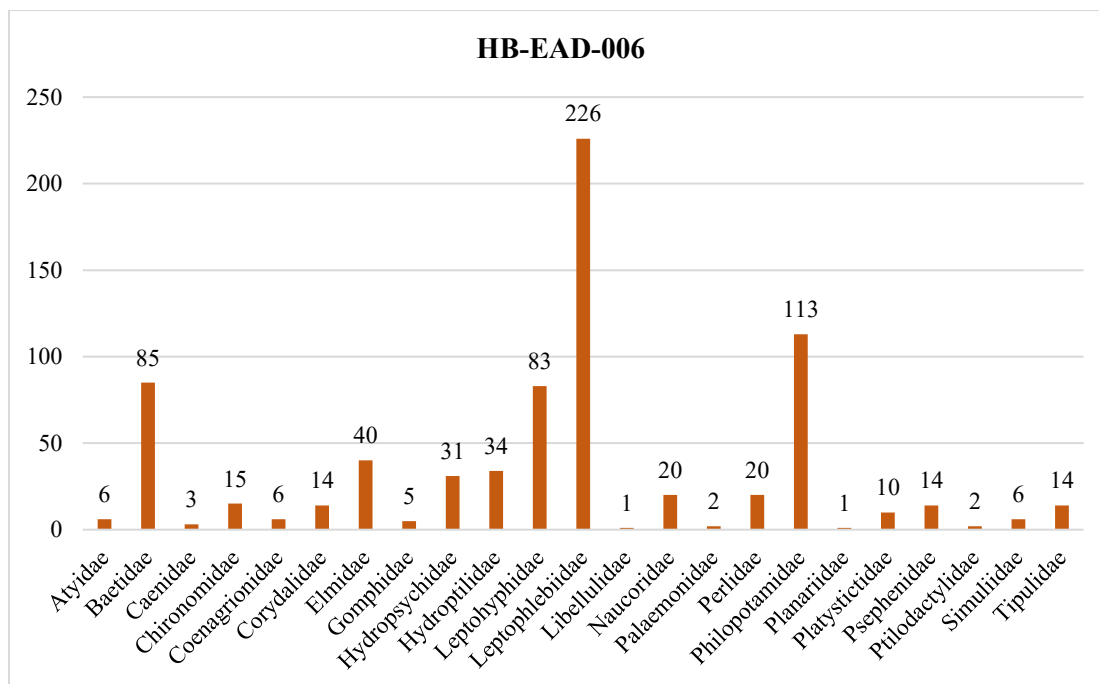


Figura 27. Abundancia de individuos por familias de macroinvertebrados acuáticos en el tramo HB-EAD-006.

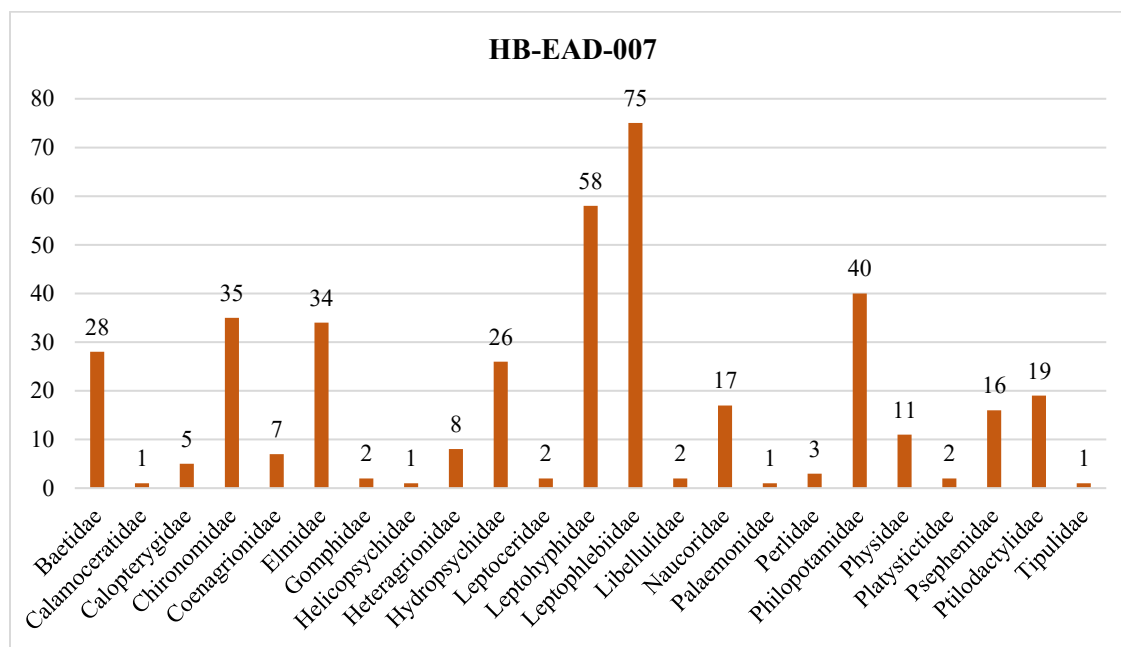


Figura 28. Abundancia de individuos por familias de macroinvertebrados acuáticos en el tramo HB-EAD-007.

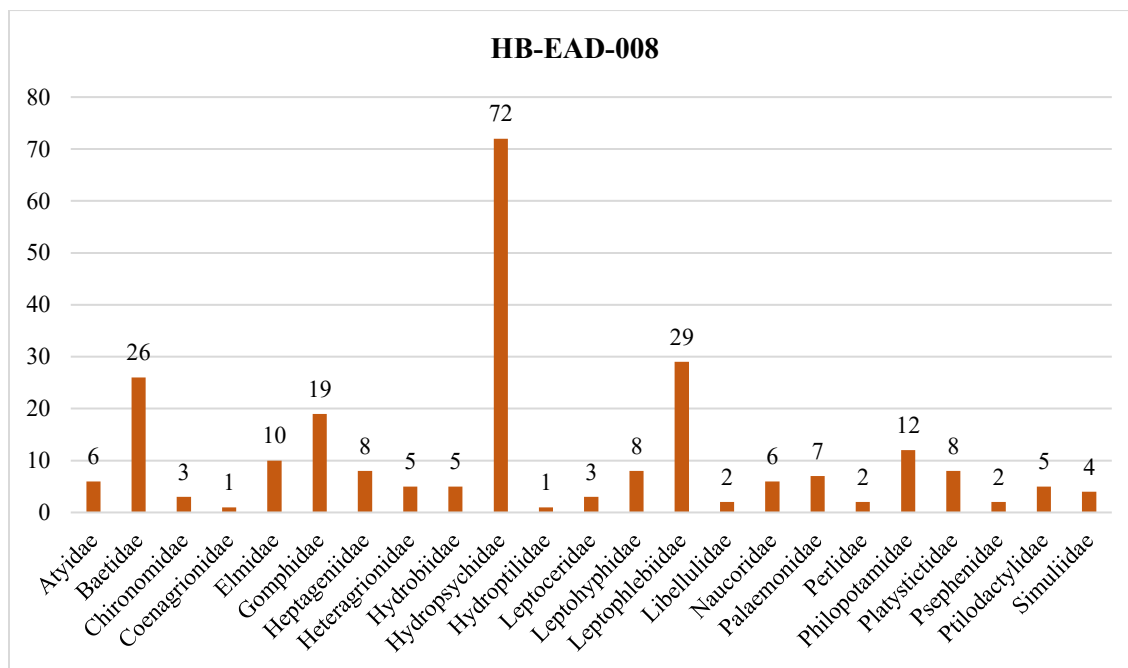


Figura 29. Abundancia de individuos por familias de macroinvertebrados acuáticos en el tramo HB-EAD-008.

Los géneros de macroinvertebrados acuáticos más abundantes fueron el género *Leptonema* de la familia Hydropsychidae con 400 individuos, seguido por *Thraulodes* de la familia Leptohyphidae con 405, *Thiaridae* con 144, *Leptohyphes* de la familia Leptohyphidae con 184 y el género *Chimarra* de la familia Philopotamidae con 133 individuos.

BMWP/PAN

Para la zona este índice no es un reflejo de contaminación orgánica, como es normalmente usado, sino de disponibilidad de hábitat como se explica en la metodología. Un análisis comparativo del índice BMWP desde el inicio de la operación muestra que su valor promedio ha aumentado, con leves fluctuaciones los últimos tres años lo que parece indicar que la actividad de Cobre Panamá no modifica la disponibilidad de hábitat en los ríos de su área de influencia. El análisis estadístico ANOVA demuestra que no hay diferencias significativas entre las medias del índice de BMWP/Panamá efectuado entre estaciones y años de muestreo ($df= 7$; $F= 0.92$; $p=0.49$). En tal sentido en la calificación promedio del índice pueden ocurrir de forma natural por variaciones en el caudal y aporte de sedimentos que modifica o reduce los hábitats de fondo y por lo tanto el número de familias asociadas a buena calidad del agua ya que estas son susceptibles al arrastre con cada creciente.

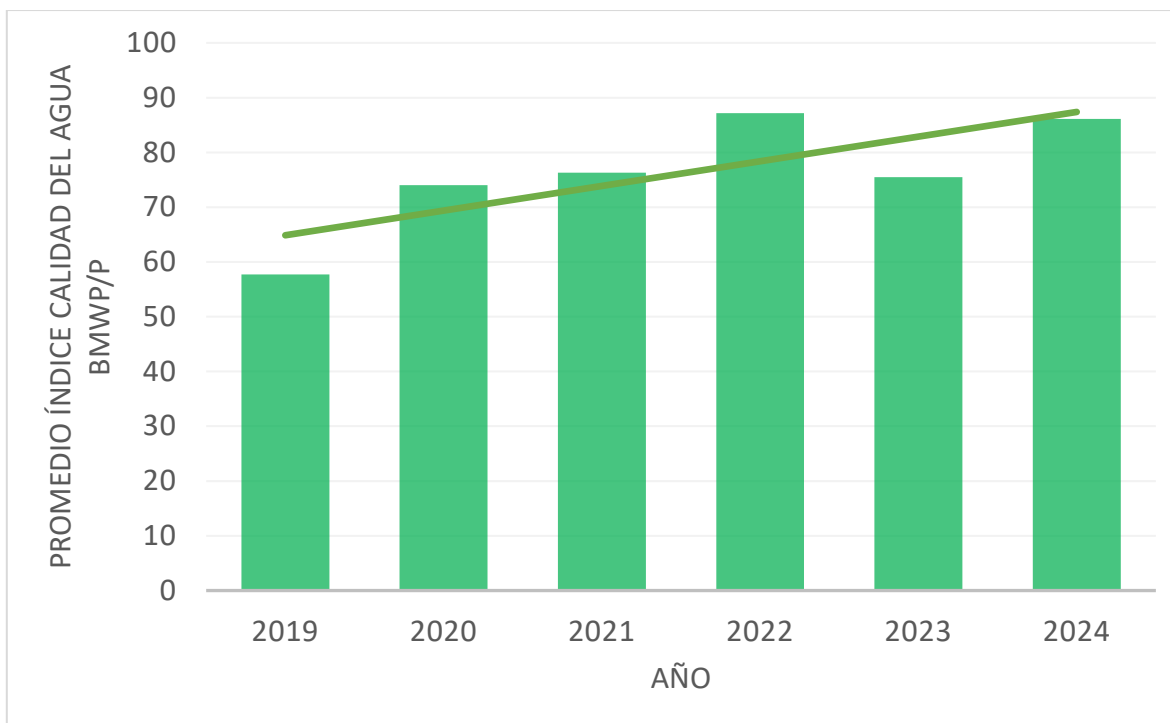


Figura 30. Promedio del Índice BMWP/PAN considerando la calificación de todas las estaciones en cada año.

Esta similitud estadística se refleja en este muestreo de 2024, durante el Plan de Gestión Segura, en el que las calificaciones son similares a años anteriores (Figura 30). El tramo de referencia HB-EAD-001 en el río Hoja no obtiene la mejor calificación como es de esperarse, reflejando el deterioro de las riberas en los ríos fuera del área de influencia de Cobre Panama. La mayor calificación se obtiene en el tramo HB-EAD-005 (Botija cercano) con 151 puntos, asociado a la mayor disponibilidad de hábitat de fondo en el tramo causado por el menor efecto de arrastre de las crecientes, y un bosque denso que aporta hojas y nutrientes a los invertebrados. Los tramos HB-EAD-006 (Botija lejano), HB-EAD-007 (Petaquilla cercano) y HB-EAD-008 (Petaquilla lejano) con calificaciones cercanas a 100 reflejan la condición más típica de los ríos de la zona de influencia, con una disponibilidad media de hábitat debido a que las lluvias constantes generan crecientes intempestivas que causan inestabilidad del hábitat de fondo y por ende menor número de familias de insectos de fondo.

En el caso del río Caimito su tramo lejano (HB-EAD-004) presenta la menor calificación pues se ubica en la parte baja del río en el que el sistema nacional hidrológico registra caudales superiores a 30 m³/s, siendo el tramo caracterizado por riberas con elevada

deforestación que reduce considerablemente los hábitat de fondo. El tramo cercano (HB-EAD-003) presenta mejor calificación que corresponde al río del Medio dentro de la huella de Cobre Panamá, con un caudal medio cercano a 3 m³/s y riberas de cobertura boscosa que se traduce en mayor estabilidad de hábitat.

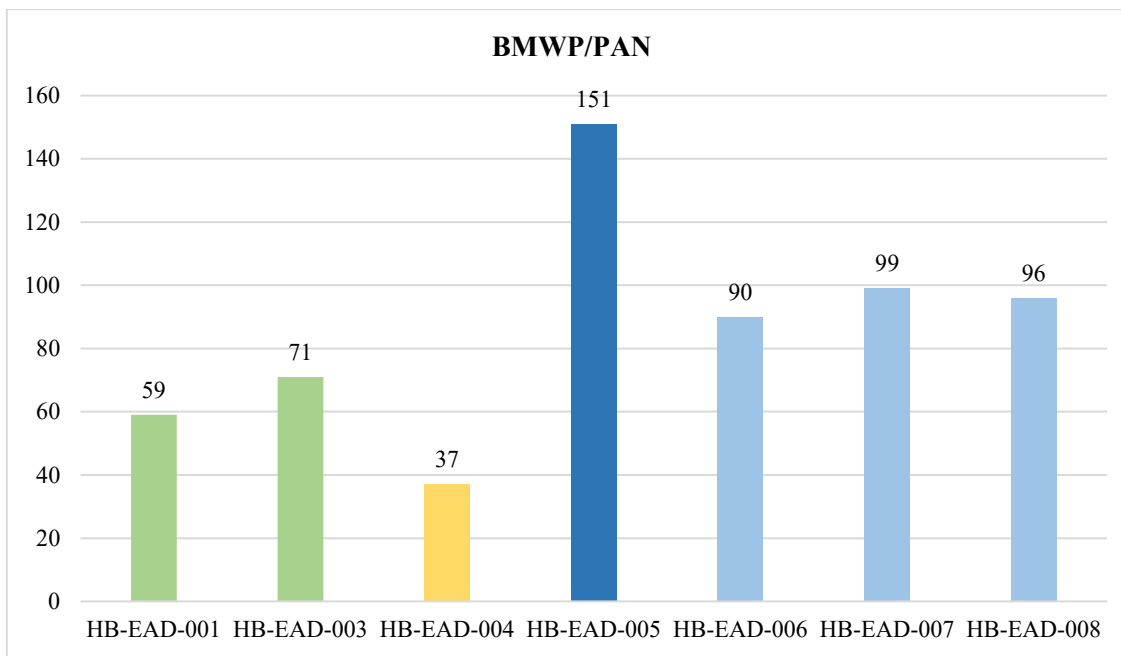


Figura 31. Índice BMWP/PAN estimado para los tramos muestreados marzo 2024.

La composición de las familias de macroinvertebrados acuáticos presentes en los cuerpos de agua pueden deberse a ciclos biológicos anuales, que normalmente corresponden a variaciones en el régimen de lluvias, aporte de sedimentos o cambios de las actividades humanas en su cuenca. El índice BMWP/PAN está reflejado por la cantidad de familias de macroinvertebrados acuáticos capturados en el momento del muestreo.

Diversidad de peces

Como resultado de este muestreo, se capturaron 255 individuos correspondientes a 22 especies de peces, distribuidos en 13 familias. El tramo HB-EAD-005 presentó la mayor abundancia con 75, sin embargo, el tramo HB-EAD-003 registro la menor abundancia de individuos con un total de 11 (Tabla 12).

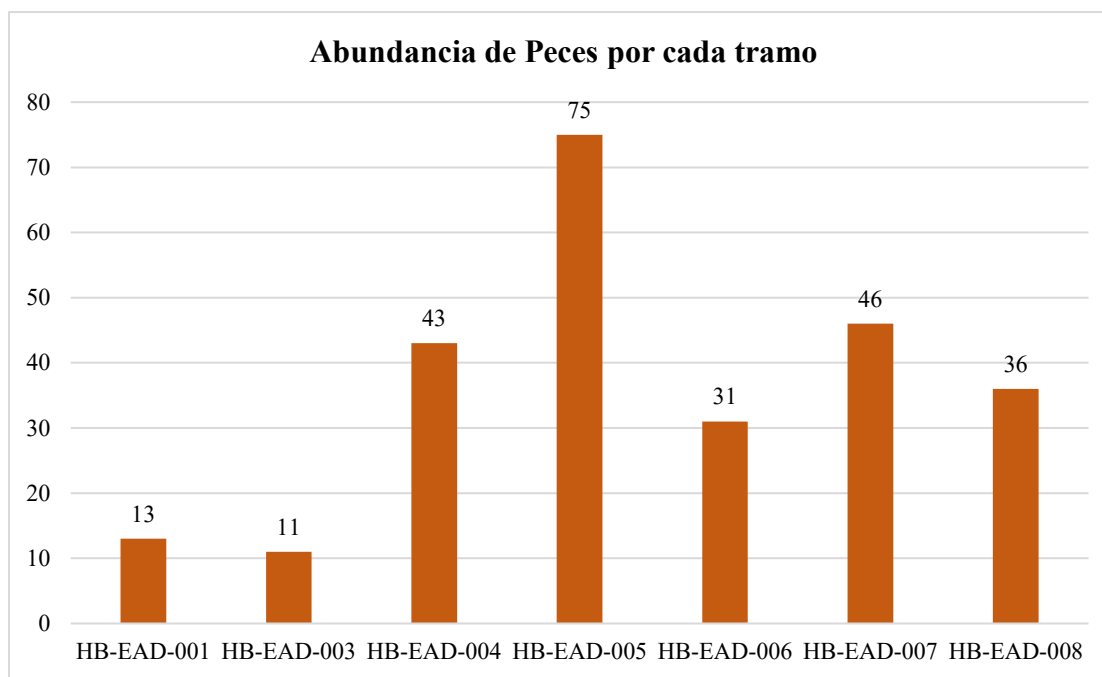


Figura 32. Abundancia de peces obtenida durante este muestreo.

El tramo HB-EAD-005 registro el índice medio de diversidad de Shannon más elevado con respecto a los demás tramos, de $H=2.188$ y presentando el índice de diversidad más bajo el tramo HB-EAD-006 con $H=1.107$ (Tabla 12), como resultado de la cantidad de especies capturadas.

Tabla 12. Índices de diversidad biológica de peces por tramo muestreado.

	HB-EAD-001	HB-EAD-003	HB-EAD-004	HB-EAD-005	HB-EAD-006	HB-EAD-007	HB-EAD-008
Taxa_S	6	6	6	14	5	10	10
Individuals	13	11	43	75	31	46	36
Dominance_D	0.2781	0.2397	0.2277	0.1559	0.3985	0.2297	0.1821
Simpson_1-D	0.7219	0.7603	0.7723	0.8441	0.6015	0.7703	0.8179
Shannon_H	1.525	1.594	1.591	2.188	1.107	1.778	1.944
Evenness_e^H/S	0.7656	0.8207	0.818	0.6373	0.6053	0.5916	0.6984
Brillouin	1.122	1.139	1.405	1.938	0.9427	1.524	1.626

Menhinick	1.664	1.809	0.915	1.617	0.898	1.474	1.667
Margalef	1.949	2.085	1.329	3.011	1.165	2.351	2.511
Equitability_J	0.851	0.8897	0.8879	0.8293	0.6881	0.772	0.8441
Fisher_alpha	4.322	5.403	1.896	5.075	1.687	3.936	4.586
Berger-Parker	0.4615	0.3636	0.3023	0.3067	0.5161	0.3696	0.3056
Chao-1	7	12	6	14.75	5.5	12	13

La familia con mayor frecuencia en este muestreo fue Mugilidae con 53 individuos, seguido por la familia Characidae con 46 individuos y la familia Eleotridae con 37 (Tabla 12). La familia Characidae resulta ser de las más dominantes y diversas con relación a número de especies (Vega *et al.*, 2006). En cuanto a las especies más abundante se encuentran *Dajaus monticola* con 68 individuos, seguido por *Brycon obscurus* con 35 y *Sycidium altum* con 27 (Figura 33).

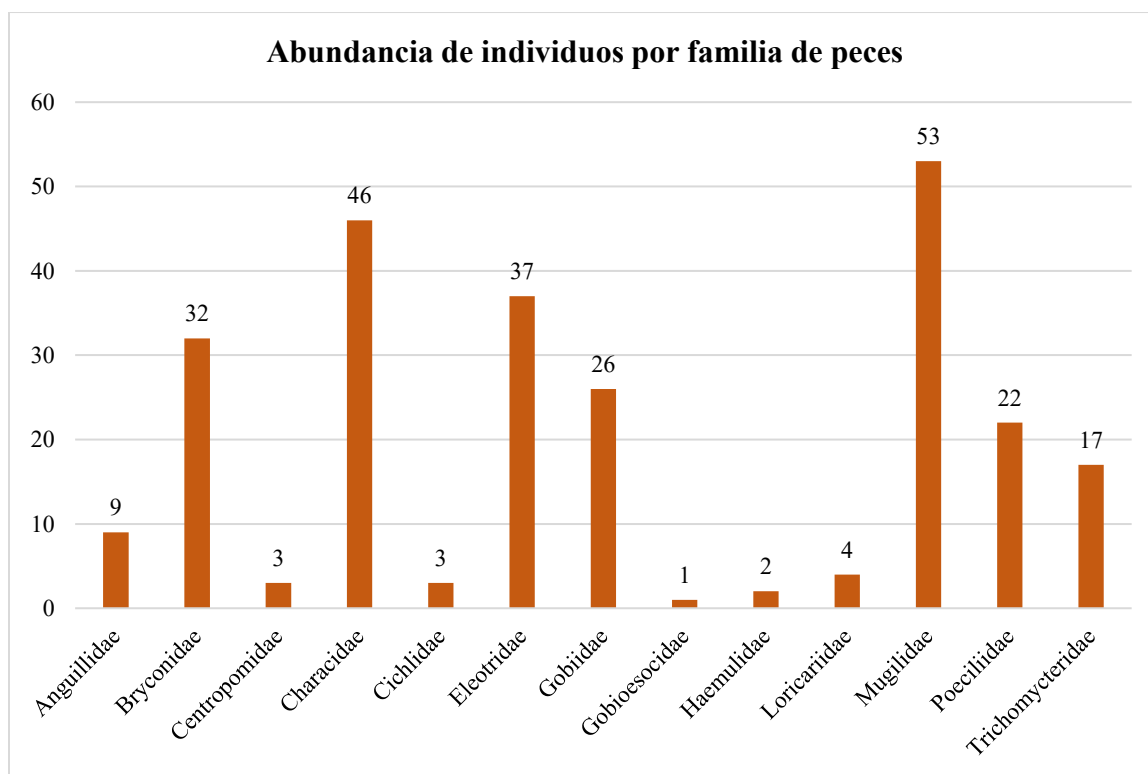


Figura 33. Abundancia de individuos por cada familia capturada durante este muestreo.

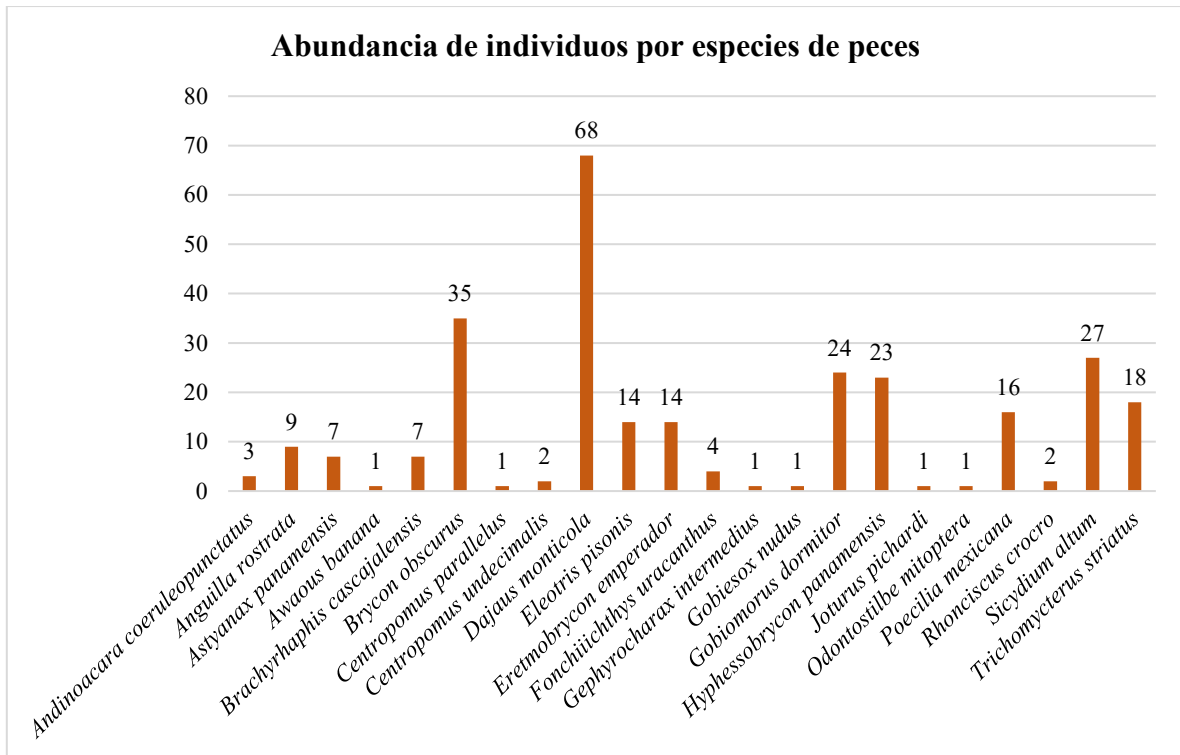


Figura 34. Abundancia de individuos por especies de peces registrada.



Figura 35. Abundancia de especies de peces por cada tramo muestreado.

El análisis de agrupamiento por índice de similitud Bray Curtis agrupa los tramos en función de su semejanza en la abundancia y cantidad de especies por tramo, este análisis agrupó a los tramos HB-EAD-006 y HB-EAD-008 con una similitud superior de 0.5 (Figura 35).

Al igual que con otras variables ambientales y biológicas, la comunidad de peces no responde a los tratamientos de cercano o lejano respecto al proyecto, siendo muy probable que la distribución de las especies responda principalmente a variables hidrológicas y de microhábitat.

Además, como la suspensión de operaciones representa una oportunidad única de comparar el estado de las comunidades biológicas con la mina en operación contra estas mismas comunidades sin operación, y siendo que no se han encontrado diferencias en la riqueza ni frecuencia de capturas de peces que sean explicadas por la variable, se concluye que hasta el momento, la operación del proyecto no ha afectado la estructura de las comunidades icticas en los sitios muestreados.

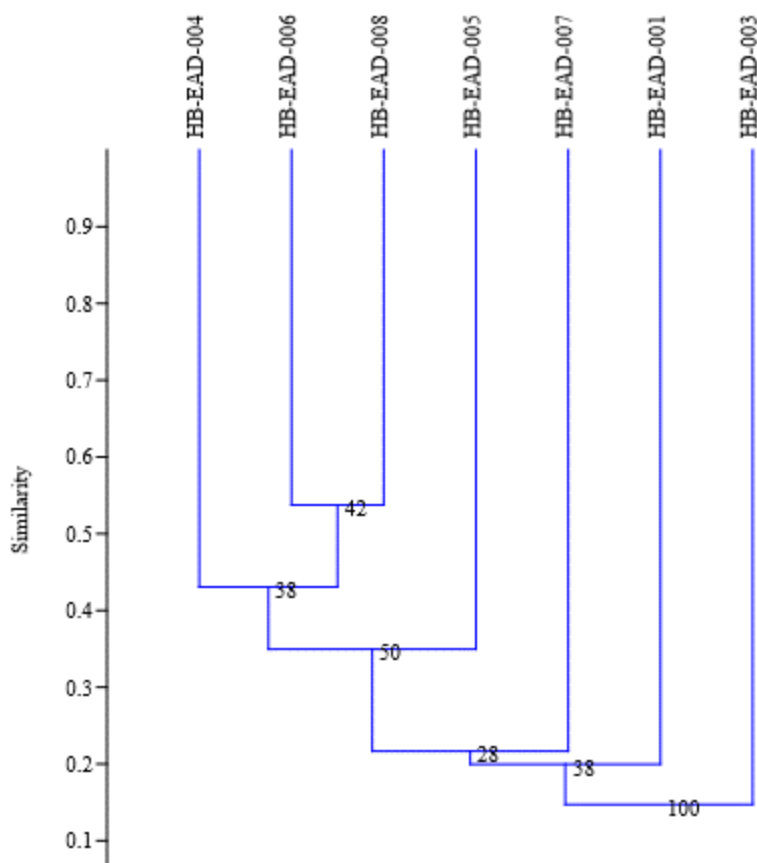


Figura 36. Árbol de agrupamiento por índice de similaridad Bray Curtis para peces.

Conclusiones

Los tramos muestreados en este periodo de gestión segura mantienen altas calificaciones en la calidad del hábitat con condiciones propicias para la vida acuática. Esta es una característica que se ha mantenido en los muestreos de la etapa de operación indicando que la estructura física de los tramos (velocidad de la corriente, profundidad y tipo de material del lecho, estabilidad y vegetación de las riberas) no depende de la operación de la mina.

Los resultados de laboratorio muestran que en promedio las concentraciones de las diferentes variables, en especial los metales no varían entre estaciones de referencia, cercanas o lejanas al proyecto. Estas variables pueden aumentar en los ríos de referencia como en los tramos cercanos o lejanos al proyecto. Esto indica que hay otros factores diferentes a la operación, como las elevadas precipitaciones que ocurren durante los muestreos, que genera cambios en su concentración. La comparación histórica de las mediciones fisicoquímicas de agua y sedimentos tampoco muestra diferencias significativas lo que reafirmaría que la operación no es un factor de modificación de la calidad del agua o sedimentos en los ríos que rodean su operación.

A nivel hidrobiológico, la composición de géneros de perifiton no muestra variaciones asociadas a la proximidad o lejanía del proyecto, ni tampoco diferencias significativas entre los periodos de operación y suspensión, reforzando el criterio de no efecto de la mina en la biodiversidad de las estaciones en monitoreo.

La calidad ecológica de los ríos que refleja el índice BMWP/Panamá (que valora la calidad del agua usando macroinvertebrados del fondo) para el periodo 2019-2024 muestra un estado creciente y relativamente estable, destacándose que las estaciones cercanas al proyecto tienen mejores calificaciones que los sistemas de referencia, en el que las alteraciones antrópicas externas parecen influir en la menor disponibilidad de hábitat para la vida de invertebrados del fondo.

En cuanto a la comunidad de peces, la riqueza y frecuencia de captura de especies de peces no muestran diferencias significativas entre los periodos de operación y suspensión de actividades. Igualmente, los metales medios en los músculos del pez carnívoro *G. docmitor* o guabina, pueden ser medidos en mayor concentración en las estaciones de referencia o lejanas al proyecto. Estos resultados refuerzan la conclusión de que, hasta el momento, la operación del proyecto no ha generado impactos sobre biodisponibilidad de metales ni en la estructura de las comunidades biológicas evaluadas en los sitios muestreados.

Bibliografía

American Public Health Association (APHA). 2017. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 22th Ed. Victor Graphics. Baltimore. USA. Parte 10200.

Barbour, M. T., Gerritsen, J., Snyder, B. D & Stribling, J. B. 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and fish. Second Edition. EPA. 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency, Office of water. Washington, D.C. USA.

Benetti, C.J., Michat, M.C., Archangelsky, M. 2018. Chapter 15: Order Coleoptera. In: Hamada, N., Thorp, J.H. & Rogers, D.C. (Eds). Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates, Fourth Edition. Volume III – Keys to Neotropical Hexapoda. Academic Press. Pp. 497-516.

Bicudo C. & Menezes, M. 2. 2006. Gêneros de algas de Aguas Continentais do Brasil: chave para identificação e descrições. 2da.

Cornejo A, López-López E, Ruiz-Picos RA, Sedeño-Díaz JE, Armitage B, Arefina T, et al. 2019. Diagnóstico de la condición ambiental de los afluentes superficiales de Panamá. Panamá: Ministerio de Ambiente, Gobierno de la República de Panamá.

DGNTI-COPANIT 35-2000. Reglamento técnico “Agua, descarga de efluentes líquidos directamente a cuerpos y masas de agua superficiales y subterráneas”.

Figueiredo Moreira, F.F., Duarte Rodriguez, H.D., Sites, R.W., da Rocha Silva Cordeiro, I. & Martins Magalhaes, O. Chapter 7: Order Hemiptera. 2018. In: Hamada, N., Thorp, J.H. & Rogers, D.C. (Eds). Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates, Fourth Edition. Vol. III – Keys to Neotropical Hexapoda. Academic Press. Pp. 175-215.

Flowers, R.W. & De la Rosa. C. 2010. Capítulo 4: Ephemeroptera. Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica I. Revista de biología tropical, Vol. 58 (Supl. 4), 63-93.

Fusari, M.L., Dantas, G. & Pinho, L.C. 2018. Chapter 16: Orden Diptera. In: Hamada, N., Thorp, J.H. & Rogers, D.C. (Eds). Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates, Fourth Edition. Vol. III – Keys to Neotropical Hexapoda. Academic Press. Pp. 607-621.

- Mosquera-Murillo, Z., Karen Everni C. A. & Mairin Minerva M. M. 2022. Riqueza genérica y distribución de los efemerópteros (Insecta: Ephemeroptera) de la Colección Limnológica del Chocó. *Biota Colombiana* 23 (2) e1049.
- Navarrete-Salgado N. A., E. Fernández-Guillermo & G. Contreras-Rivero. 2004. *Abundancia de Quironómidos (Diptera: Chironomidae) en el bordo "JC" del norte del Estado de México en el periodo de secas*. *Hidrobiológica* 14 (2): 157-160.
- López-Delgado E. O., J. M. Vásquez-Ramos & G. Reinoso-Flórez. 2015. Listado taxonómico y distribución de los tricópteros inmaduros del departamento del Tolima. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 39(150):42-49.
- Ramírez, A. 2010. Capítulo 5: Odonata. Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica. *Revista de biología tropical*, Vol. 58 (Supl. 4), 97-136.
- Rueda-Delgado G & K. M. Wantzen. 2022. Benthic Invertebrates of Running and Stagnant Inland Waters. *Encyclopedia of Inland Waters (Second Edition)*. Vol. 3: 231-242.
- Springer, M. 2010. Capítulo 7: Trichoptera. Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica. *Revista de biología tropical*, Vol. 58 (Supl. 4), 151-198.
- USEPA (United States Enviroment Agency). 1993. EPA/600/4-90/027F. Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving water to freshwater and marine organisms. Fourth ed. Cincinnati, Ohio. 273 p.
- Vega A. J., Y. A. Robles., O. Tuñón & C. Barrera. 2006. Fauna acuática del área centro occidental de Panamá. *Tecnociencia*, Vol. 8, N° 2. 87-100.
- Wetzel, R. 1983. *Periphyton of freshwater ecosystems*. The Netherlands: Dr. W. Junk Publishers.

Anexos

Tabla 13. Registro de la abundancia de especies de peces por cada tramo de muestreo.

	HB-EAD- 001	HB-EAD- 003	HB-EAD- 004	HB-EAD- 005	HB-EAD- 006	HB-EAD- 007	HB-EAD- 008	HB-EAD- 001
Anguillidae								
<i>Anguilla rostrata</i>	0	0	6	0	0	1	2	0
Bryconidae								
<i>Brycon obscurus</i>	0	0	0	23	2	2	5	0
Centropomidae								
<i>Centropomus parallelus</i>	1	0	0	0	0	0	0	1
<i>Centropomus undecimalis</i>	0	0	2	0	0	0	0	0
Characidae								
<i>Astyanax panamensis</i>	0	0	0	2	0	5	0	0
<i>Eretmobrycon emperador</i>	0	0	0	1	0	12	1	0
<i>Gephyrocharax intermedius</i>	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Hyphessobrycon panamensis</i>	0	0	0	5	0	17	1	0
<i>Odontostilbe mitoptera</i>	0	0	0	1	0	0	0	0
Cichlidae								
<i>Andinoacara coeruleopunctatus</i>	0	0	0	3	0	0	0	0
Eleotridae								
<i>Eleotris pisonis</i>	1	0	13	0	0	0	0	1
<i>Gobiomorus dormitor</i>	6	1	8	2	1	2	3	6
Gobiidae								

<i>Awaous banana</i>	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Sicydium altum</i>	0	1	2	7	11	1	3	0
Gobioesocidae								
<i>Gobiesox nudus</i>	0	0	0	0	0	0	1	0
Haemulidae								
<i>Rhonciscus crocro</i>	2	0	0	0	0	0	0	2
Loricariidae								
<i>Fonchiiichthys uracanthus</i>	0	0	0	4	0	0	0	0
Mugilidae								
<i>Dajaus monticola</i>	2	1	12	9	16	1	11	2
<i>Joturus pichardi</i>	0	0	0	0	0	1	0	0
Poeciliidae								
<i>Brachyrhaphis cascajalensis</i>	0	4	0	2	0	0	0	0
<i>Poecilia mexicana</i>	0	3	0	12	0	0	1	0
Trichomycteridae								
<i>Trichomycterus striatus</i>	1	0	0	3	1	4	8	1
Total	13	11	43	75	31	46	36	13

Tabla 14. Registro de géneros de macroinvertebrados acuáticos por tramo muestreado.

	HB-EAD-001	HB-EAD-003	HB-EAD-004	HB-EAD-005	HB-EAD-006	HB-EAD-007	HB-EAD-008
--	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

Physidae							
<i>Physidae</i>	0	7	0	0	0	11	0
COLEOPTERA							
Elmidae							
<i>Cylloepus</i>	0	0	4	0	0	0	0
<i>Heterelmis</i>	2	0	0	4	1	17	2
<i>Hexanchorus</i>	3	0	0	0	2	0	0
<i>Huleechius</i>	0	0	0	0	0	10	0
<i>Macrelmis</i>	4	3	0	0	0	1	6
<i>Neoelmis</i>	7	0	0	27	32	0	0
<i>Phanocerus</i>	0	0	1	1	2	1	0
<i>Xenelmis</i>	0	0	0	6	3	5	2
Gyrinidae							
<i>Gyrinus</i>	0	0	0	2	0	0	0
Psephenidae							
<i>Psephenus</i>	2	2	0	5	14	16	2
Ptilodactylidae							
<i>Anchytails</i>	0	0	0	18	2	19	5
Scirtidae							
<i>Scirtidae spl</i>	0	0	0	5	0	0	0
DECAPODA	0	0	0	0	0	0	0
Atyidae							
<i>Atyia</i>	56	23	0	2	6	0	6
Palaemonidae							
<i>Macrobrachium</i>	2	0	745	2	2	1	7

Pseudothelphusidae							
<i>Pseudothelphusa</i>	0	0	3	0	0	0	0
DIPTERA							
Ceratopogonidae							
<i>Bezzia</i>	1	0	0	5	0	0	0
Chironomidae							
<i>Chironominae</i>	24	1	6	19	12	28	1
<i>Orthoclaadiinae</i>	5	0	0	41	0	5	2
<i>Tanypodinae</i>	2	1	1	10	3	2	0
<i>Simuliidae</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Simulium</i>	0	0	0	3	6	0	4
<i>Tipulidae</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Hexatoma</i>	0	0	0	5	5	1	0
<i>Limnophila</i>	0	0	0	0	8	0	0
<i>Tipula</i>	2	0	0	0	1	0	0
EPHEMEROPTERA							
Baetidae							
<i>Americabaetis</i>	0	0	0	0	0	0	1
<i>Baetis</i>	4	4	0	55	11	10	4
<i>Baetodes</i>	2	0	0	10	14	9	12
<i>Camelobaetidius</i>	4	0	0	13	50	9	8
<i>Guajirolus</i>	0	0	0	0	0	0	1
<i>Mayobaetis</i>	1	0	0	0	0	0	0
<i>Moribaetis</i>	0	0	0	0	10	0	0
Caenidae							

<i>Caenis</i>	0	2	2	19	3	0	0
Euthyplociidae							
<i>Euthyplocia</i>	0	0	0	1	0	0	0
Heptageniidae							
<i>Maccaffertium</i>	0	0	0	2	0	0	8
Leptohyphidae							
<i>Asioplax</i>	10	0	0	0	5	0	0
<i>Haplohyphes</i>	0	0	9	11	0	4	1
<i>Leptohyphes</i>	13	0	1	37	78	49	6
<i>Tricorythodes</i>	38	3	3	57	0	5	1
Leptophlebiidae							
<i>Farrodes</i>	4	0	7	0	24	2	0
<i>Hagenulopsis</i>	0	0	0	0	0	0	7
<i>Hydrosmilodon</i>	4	0	0	0	13	2	3
<i>Terpides</i>	1	0	1	0	1	10	5
<i>Thraulodes</i>	54	14	4	71	187	61	14
<i>Traverella</i>	2	0	0	2	1	0	0
<i>Haplotaxida</i>	0	0	0	0	0	0	0
Tubificidae							
<i>Tubificidae</i>	0	1	0	0	0	0	0
HEMIPTERA							
Hebridae							
<i>Hebridae</i>	0	0	0	2	0	0	0
Hydrometridae							
<i>Hydrometra</i>	0	0	0	1	0	0	0

<i>Naucoridae</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ambrysus</i>	0	0	0	0	4	0	1
<i>Cryphocricus</i>	0	0	0	6	16	17	5
Veliidae	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rhagovelia</i>	3	0	0	2	0	0	0
LEPIDOPTERA							
Crambidae	0	0	0	0	0	0	0
<i>Petrophila</i>	15	1	11	0	0	0	0
MEGALOPTERA							
Corydalidae							
<i>Corydalus</i>	0	0	0	6	14	0	0
<i>Mesogastropoda</i>	0	0	0	0	0	0	0
Thiaridae							
<i>Thiaridae</i>	0	144	0	0	0	0	0
<i>Neritoida</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Neritidae</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nerita</i>	1	0	0	0	0	0	0
Odonata							
Aeshnidae							
<i>Coryphaeschna</i>	0	0	0	1	0	0	0
Calopterygidae							
<i>Hetaerina</i>	0	1	0	6	0	5	0
Coenagrionidae							
<i>Argia</i>	0	0	0	36	6	7	1
Gomphidae							

<i>Epigomphus</i>	0	0	1	16	0	0	3
<i>Perigomphus</i>	1	1	0	0	5	2	16
Heteragrionidae							
<i>Heteragrion</i>	0	0	0	2	0	8	5
Libellulidae							
<i>Libellula</i>	0	2	0	3	1	2	2
<i>Sympetrum</i>	0	0	1	0	0	0	0
Platystictidae							
<i>Palaemnema</i>	5	6	0	13	10	2	8
Polythoridae							
<i>Cora</i>	0	0	0	2	0	0	0
PLECOPTERA							
Perlidae	0	0	0	0	0	0	0
<i>Anacroneuria</i>	1	1	0	7	20	3	2
<i>Sorbeoconcha</i>	0	0	0	0	0	0	0
Hydrobiidae							
<i>Hydrobiidae</i>	0	0	0	1	0	0	5
TRICHOPTERA							
Calamoceratidae							
<i>Phylloicus</i>	0	0	0	0	0	1	0
Helicopsychidae							
<i>Helicopsyche</i>	0	0	0	1	0	1	0
Hydropsychidae							
<i>Leptonema</i>	67	62	3	140	30	26	72
<i>Smicridea</i>	0	0	0	0	1	0	0

Hydroptilidae							
<i>Hydroptila</i>	2	0	1	34	4	0	1
<i>Leucotrichia</i>	0	0	0	0	30	0	0
Leptoceridae							
<i>Atanotolica</i>	0	0	0	8	0	1	0
<i>Nectopsyche</i>	0	0	0	0	0	1	0
<i>Oecetis</i>	0	0	0	0	0	0	3
Limnephilidae							
<i>Limnephilidae</i>	0	0	0	2	0	0	0
Philopotamidae							
<i>Chimarra</i>	0	1	0	7	95	19	11
<i>Wormaldia</i>	0	0	0	0	18	21	1
Xiphocentronidae							
<i>Xiphocentron</i>	0	0	0	4	0	0	0
TRICLARIDA							
Planariidae							
<i>Planariidae</i>	0	0	0	0	1	0	0
Total	342	280	804	733	751	394	244

Tabla 15. Metales totales presentes en las muestras de agua de cada tramo.

Metales totales	Unidad	LD	HB-EAD-001	HB-EAD-003	HB-EAD-004	HB-EAD-005	HB-EAD-006	HB-EAD-007	HB-EAD-008
Plata (Ag)	mg/L	0.00008	< 0,00008	< 0,00008	< 0,00008	< 0,00008	< 0,00008	< 0,00008	< 0,00008
Aluminio (Al)	mg/L	0.003	2,596	0,095	2,148	0,137	0,075	0,080	0,053
Arsénico (As)	mg/L	0.0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Boro (B)	mg/L	0.003	0,010	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Bario (Ba)	mg/L	0.0006	0,0377	0,0237	0,0318	0,0171	0,0197	0,0135	0,0136
Berilio (Be)	mg/L	0.0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Bismuto (Bi)	mg/L	0.0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Calcio (Ca)	mg/L	0.1	6,44	166,4	32,61	7,70	5,47	4,26	3,66
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0001	< 0,00010	< 0,00010	< 0,00010	< 0,00010	< 0,00010	< 0,00010	< 0,00010
Cobalto (Co)	mg/L	0.0002	0,0006	< 0,0002	0,0007	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Cromo (Cr)	mg/L	0.0007	0,0019	< 0,0007	0,0037	0,0022	0,0019	0,0042	< 0,0007
Cobre (Cu)	mg/L	0.0003	0,0179	0,0033	0,0117	0,0088	0,0013	0,0055	0,0033
Hierro (Fe)	mg/L	0.016	2,895	0,236	2,630	0,580	0,290	0,465	0,502
Mercurio (Hg)	mg/L	0.00003	< 0,00003	< 0,00003	< 0,00003	< 0,00003	< 0,00003	< 0,00003	< 0,00003
Potasio (K)	mg/L	0.02	1,06	5,69	1,80	0,68	0,79	0,56	0,49
Litio (Li)	mg/L	0.0007	< 0,0007	0,0031	< 0,0007	< 0,0007	< 0,0007	< 0,0007	< 0,0007
Magsio (Mg)	mg/L	0.002	1,710	16,18	4,218	3,454	2,053	1,742	1,576
Mangaso (Mn)	mg/L	0.0002	0,0247	0,1453	0,0482	0,0594	0,0107	0,0182	0,0203
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.0002	0,0036	0,1083	0,0221	0,0009	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Sodio (Na)	mg/L	0.01	6,29	21,13	9,12	5,40	5,38	3,91	3,81
Níquel (Ni)	mg/L	0.0002	0,0005	0,0010	0,0010	< 0,0002	< 0,0002	0,0026	0,0022
Fósforo (P)	mg/L	0.05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Plomo (Pb)	mg/L	0.0002	0,0008	< 0,0002	< 0,0002	0,0008	< 0,0002	0,0036	< 0,0002
Antimonio (Sb)	mg/L	0.0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Selenio (Se)	mg/L	0.0006	< 0,0006	< 0,0006	< 0,0006	< 0,0006	< 0,0006	< 0,0006	< 0,0006

Silicio (Si)	mg/L	0.1	13,57	6,32	10,63	10,44	8,70	7,15	6,83
Estañio (Sn)	mg/L	0.0002	0,0011	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Estroncio (Sr)	mg/L	0.0002	0,06302	0,9518	0,1965	0,04757	0,04127	0,02759	0,02539
Titanio (Ti)	mg/L	0.0005	0,0611	0,0022	0,0355	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005
Talio (Tl)	mg/L	0.0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Uranio (U)	mg/L	0.0002	< 0,0002	0,0005	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Vanadio (V)	mg/L	0.0002	0,0163	0,0010	0,0099	0,0019	0,0008	< 0,0002	< 0,0002
Zinc (Zn)	mg/L	0.008	< 0,008	< 0,00008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008

Tabla 16. Metales disueltos presentes en las muestras de agua.

Metales disueltos	Unidad	LD	HB-EAD-001	HB-EAD-003	HB-EAD-004	HB-EAD-005	HB-EAD-006	HB-EAD-007	HB-EAD-008
Plata Disuelta (Ag)	mg/L	0.00008	< 0,00008	< 0,00008	< 0,00008	< 0,00008	< 0,00008	< 0,00008	< 0,00008
Aluminio Disuelto (Al)	mg/L	0.003	0,073	0,051	0,097	0,035	0,031	0,012	< 0,003
Arsénico Disuelto (As)	mg/L	0.0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Boro Disuelto (B)	mg/L	0.003	0,012	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Bario Disuelto (Ba)	mg/L	0.0006	0,0207	0,0222	0,0236	0,0148	0,0173	0,0120	0,0136
Berilio Disuelto (Be)	mg/L	0.0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Bismuto Disuelto (Bi)	mg/L	0.0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Calcio Disuelto (Ca)	mg/L	0.1	6,01	163,6	32,61	7,70	4,95	4,26	3,66
Cadmio Disuelto (Cd)	mg/L	0.0001	< 0,00010	< 0,00010	< 0,00010	< 0,00010	< 0,00010	< 0,00010	< 0,00010
Cobalto Disuelto (Co)	mg/L	0.0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Cromo Disuelto (Cr)	mg/L	0.0007	< 0,0007	< 0,0007	< 0,0007	< 0,0007	< 0,0007	< 0,0007	< 0,0007
Cobre Disuelto (Cu)	mg/L	0.0003	0,0031	0,0021	0,0029	0,0053	0,0013	0,0035	0,0022
Hierro Disuelto (Fe)	mg/L	0.016	0,339	0,046	0,346	0,202	0,186	0,154	0,304
Mercurio Disuelto (Hg)	mg/L	0.00003	< 0,00003	< 0,00003	< 0,00003	< 0,00003	< 0,00003	< 0,00003	< 0,00003
Potasio Disuelto (K)	mg/L	0.02	0,99	5,69	1,80	0,68	0,79	0,56	0,49

Litio Disuelto (Li)	mg/L	0.0007	< 0,0007	0,0024	< 0,0007	< 0,0007	< 0,0007	< 0,0007	< 0,0007
Magsio Disuelto (Mg)	mg/L	0.002	1,570	16,18	4,175	3,454	2,022	1,742	1,576
Mangaso Disuelto (Mn)	mg/L	0.0002	0,0092	0,1143	0,0243	0,0496	0,0066	0,0143	0,0203
Molibdeno Disuelto (Mo)	mg/L	0.0002	0,0033	0,1083	0,0221	0,0009	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Sodio Disuelto (Na)	mg/L	0.01	6,17	21,13	8,97	5,34	5,01	3,91	3,81
Níquel Disuelto (Ni)	mg/L	0.0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Fósforo Disuelto (P)	mg/L	0.05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Plomo Disuelto (Pb)	mg/L	0.0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Antimonio Disuelto (Sb)	mg/L	0.0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Selenio Disuelto (Se)	mg/L	0.0006	< 0,0006	< 0,0006	< 0,0006	< 0,0006	< 0,0006	< 0,0006	< 0,0006
Silicio Disuelto (Si)	mg/L	0.1	11,75	6,14	10,63	10,44	8,70	7,15	6,83
Estaño Disuelto (Sn)	mg/L	0.0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Estroncio Disuelto (Sr)	mg/L	0.0002	0,05774	0,9518	0,1873	0,04719	0,03878	0,02741	0,02539
Titanio Disuelto (Ti)	mg/L	0.0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005
Talio Disuelto (Tl)	mg/L	0.0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Uranio Disuelto (U)	mg/L	0.0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Vanadio Disuelto (V)	mg/L	0.0002	0,0032	0,0004	0,0015	0,0010	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Zinc Disuelto (Zn)	mg/L	0.008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008

Tabla 17. Metales presentes en muestras de sedimento.

	Unidad	LD	HB-EAD-001	HB-EAD-003	HB-EAD-004	HB-EAD-005	HB-EAD-006	HB-EAD-007	HB-EAD-008
Plata	mg/kg	0.5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Aluminio	mg/kg	2.0	7503	6183	3154	7921	16588	18873	16130
Arsénico	mg/kg	3.0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0
Boro	mg/kg	2.0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
Bario	mg/kg	0.3	36,2	19,8	10,5	45,8	142,3	50,8	70,3
Berilio	mg/kg	1.0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Bismuto	mg/kg	2.0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
Calcio	mg/kg	1.5	391,6	785,2	654,1	1026	2130	775,3	513,8
Cadmio	mg/kg	0.1	< 0,1	< 0,1	3,0	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Cobalto	mg/kg	1.0	3,0	5,2	5,2	9,7	12,0	15,9	10,5
Cromo	mg/kg	1.0	4,0	4,1	8,1	39,9	19,7	45,8	18,4
Cobre	mg/kg	0.8	26,6	33,5	12,7	169,8	39,0	304,0	144,1
Hierro	mg/kg	2.5	8271	16050	39056	25554	31378	65608	29164
Potasio	mg/kg	3.5	158,7	366,1	49,7	245,1	302,5	555,1	468,4
Litio	mg/kg	3.5	< 3,5	< 3,5	< 3,5	< 3,5	< 3,5	< 3,5	< 3,5
Magnesio	mg/kg	3.0	839,6	1131	469,6	2333	5788	5601	4505
Manganeso	mg/kg	2.0	85,7	441,5	185,7	682,3	925,7	868,0	706,7
Molibdeno	mg/kg	0.6	< 0,6	< 0,6	< 0,6	5,3	< 0,6	9,2	< 0,6
Sodio	mg/kg	3.0	37,6	66,1	< 3,0	< 3,0	< 3,0	51,1	58,7

Níquel	mg/kg	1.0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	6,3	2,5	4,4	5,1
Fósforo	mg/kg	5.0	80,2	128,5	219,4	208,2	419,6	469,4	234,0
Plomo	mg/kg	3.0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0
Antimonio	mg/kg	4.0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0
Selenio	mg/kg	0.5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Estaño	mg/kg	0.3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Estroncio	mg/kg	0.7	7,3	10,0	4,3	8,0	22,8	7,8	6,5
Titanio	mg/kg	0.4	381,0	369,1	408,2	158,2	364,5	314,6	262,7
Talio	mg/kg	0.04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04
Vanadio	mg/kg	0.7	52,6	65,4	185,4	51,6	64,2	142,4	77,1
Zinc	mg/kg	0.6	16,5	36,0	177,9	78,8	44,7	183,4	120,7